

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Návrh a realizace řízení robotického manipulátoru

**Design and Implementation of Control Application for Robotic
Arm**

2017/2018

Bc. Kateřina Sypěnová

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Kateřina Sypěnová**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2612T041 Řídicí a informační systémy
Téma: **Návrh a realizace řízení robotického manipulátoru**
Design and Implementation of Control Application for Robotic Arm

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Návrh koncepce robotického pracoviště pro montáž výrobku.
2. Specifikace činností a trajektorií šestiosého robota.
3. Návrh a realizace řídicí aplikace robota.
4. Zhodnocení aspektů funkční bezpečnosti robotického pracoviště.
5. Testování funkčnosti robotického pracoviště.
6. Zhodnocení výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] ČSN EN ISO 10218. *Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. Třídící znak 186502.
[2] Technická literatura firmy Mitsubishi Electric.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

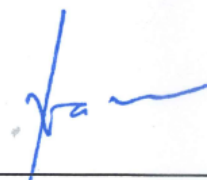
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Kozíorek, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018


doc. Ing. Jiří Kozíorek, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala zcela samostatně. Uvedla jsem veškeré literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

V Ostravě dne: 17. Dubna 2018

.....*Sypimova*.....
Podpis studenta

Abstrakt

Cílem práce je návrh dvou aplikací pro robotické rameno Mitsubishi, sloužící k manipulaci s lego kostkami. Aplikace bude sloužit jako demonstrační a výukový materiál.

První aplikace je čistě pro účely demonstrační. Její princip je ve složení a rozložení stavby. Druhá aplikace je částí řídicí aplikace, řízené průmyslovým počítačem. Tato část slouží k odebrání kostky ze zásobníku a následné njetí nad karusel. Položení kostky řídí průmyslový počítač, po předání řízení zpět robotické rameno ukládá kostky zpět do zásobníku.

Požadavkem a obsahem práce je také otestování bezpečnosti konstrukce a otestování bezpečnostních možností robotického ramene.

Klíčová slova

Robotické rameno, Lego Duplo kostka, kruhový otočný zásobník kostek, překladiště kostek, karusel

Abstract

The aim of the thesis is to design two applications for the Mitsubishi robotic arm, which is used to manipulate lego cubes. Applications will serve as a demonstration and teaching material.

The first application is purely for demonstration purpose. Its principle is in the composition and layout of the building. The second application will be part of a control application controlled by a programmable logic controller. This part is used to withdraw a dice from the stack and then move it over the carousel. The layout of the cube is driven by programmable logic controller, after the handover is passed, the robotic arm puts the cube back into the stack.

The requirement and content of the work is also to test the design safety of the construction stand and to test the security possibilities of the robotic arm.

Key words

Robotic Arm, Lego Duplo cube, Circle turntable stack for cubes, Transhipment of cubes, Carousel

Obsah

Seznam použitých zkratk	7
Seznam ilustrací	9
Seznam tabulek	10
1 Úvod	11
2 Robotika	12
2.1 Průmyslový robot	12
2.1.1 SCARA	13
2.2 Šestiosé robotické rameno RV-2F-Q	13
2.2.1 Technické parametry robotického ramene	14
2.2.2 Elektrický úchop Schunk 310940	15
2.2.3 Q platforma a připojení robotického ramene	16
3 Koncepce robotického pracoviště	19
3.1 Popis konstrukce robotického pracoviště	19
3.2 Testování dosažitelnosti RR v simulátoru	21
4 Bezpečnost robotického pracoviště	24
4.1 Určení bezpečnosti	24
4.1.1 Odhad rizika pomocí hodnot SIL	24
4.1.2 Odhad rizika dle normy EN ISO 13849 – Pl	27
4.2 Vytvoření ochranných prvků	28
4.2.1 Free plane limit	28
4.2.2 User-defined area	29
4.3 Zvýšení bezpečnosti uživatele	29
4.3.1 Světelné závory	30
4.3.2 STOP tlačítko	31
4.3.3 Bezpečnostní modul Mitsubishi	32
5 Specifikace činností a trajektorií robotického ramene	34
5.1 Souřadnicové systémy	34
5.2 Pohybový systém	36
5.2.1 PTP – Point to point	36
5.2.2 LIN – Lineární pohyb	37
5.2.3 CIRC – pohyb po kružnici	38
5.3 Specifikace řídicích aplikací	39

5.3.1	Kompletní aplikace složení a rozložení stavby	39
5.3.2	Stavový automat pro ovládání robotického ramene – příprava kostek pro libovolnou stavbu	40
6	Řídicí aplikace robotického ramene	44
6.1	Řídicí aplikace pro permanentní stavbu	44
6.1.1	Program pro posun kostek	46
6.2	Stavový automat pro ovládání robotického ramene – příprava kostek pro libovolnou stavbu	48
6.2.1	Stavový automat	48
6.2.2	Realizace programu pro přesun kostky zpět do zásobníku	52
6.2.3	Realizace programu pro vrácení kostky do zásobníku	58
7	Testování aplikací	60
7.1	Testování aplikace složení a rozložení stavby	60
7.2	Testování stavového automatu pro ovládání robotického ramene – příprava kostek pro libovolnou stavbu	61
8	Závěr	63
	Použitá literatura	64
	Seznam příloh	65

Seznam použitých zkratk

Zkratka	Význam
Av	Třída pravděpodobnosti vyvarování se nebo omezení škody.
CIRC	Pohyb po kružnici.
Cl	Třída pravděpodobnosti škody a nebezpečí.
CPU	Central processing unit – Centrální procesorová jednotka.
E/E/EP	Elektrický/ elektronický/ programově elektronický systém.
F1, F2	Frekvence a četnost zranění.
Fr	Frekvence (vystavení) nebezpečí.
IP	IP adresa.
IP30	Označení stroje pro ochranu před tuhými tělesy o minimálním průměru 2,5 mm a větších. Zařízení není chráněno vůči vodě.
IP54	Označení stroje pro ochranu v prašném prostředí a částečně proti vodě.
IP67	Označení stroje pro ochranu v prašném prostředí a plně proti vodě.
J1 – J6	Označení pohybových os robotického ramene.
Kostka2x2	Kostka o velikosti 32 x 32 mm.
Kostka2x3	Kostka o velikosti 32 x 40 mm.
Kostka2x4	Kostka o velikosti 32 x 48 mm.
LIN	Lineární pohyb.
LP2, LP3, LP4	Označení pozice na levém překladišti.
P1, P2	Možnost vyloučení nebezpečí.
Pl	Úroveň vlastností bezpečnosti.
PP2, PP3, PP4	Označení pozice na pravém překladišti.
Pr	Pravděpodobnost zranění.
PTP	Pohyb z bodu do bodu.
PZ2, PZ3, PZ4	Označení pozice v prostředním zásobníku.
RS - 422	Sběrnice pro přenos dat.
RT Toolbox 2	Program pro vytvoření řídicích programů pro robotické rameno.
RV-2F-Q-SH	Značka využívaného robotického ramene.

S1, S2	Úroveň zranění.
Se	Závažnost potencionálního rizika.
SIL	Úroveň integrity bezpečnosti technického systému.
SZ2, SZ3, SZ4	Označení pozice ve spodním zásobníku.
SCARA	Značka robotických ramen od výrobce Mitsubishi Electric.
TCP/IP	Primární přenosový protokol / protokol síťové vrstvy.
USB	Univerzální sériová sběrnice.
VZ2, VZ3, VZ4	Označení pozice ve vrchním zásobníku.

Seznam ilustrací

<i>Obr. 1 Robotické rameno RV – 2F – Q popis pohybových os</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 2 Elektrický úchop Schunk 310940</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 3 Zapojení kontroléru k CPU</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 4 Připojení pomocí TCP/IP</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 5 Nastavení IP adres pro správné připojení</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 6 Návrh konstrukce pro robotické rameno – simulátor RT Toolbox2</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 7 Využívané kostky, zleva 2x2, 2x3 a 2x4</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 8 Dosažitelné zóny karuselu robotickým ramenem</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 9 Graf bezpečnostního rizika</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 10 Free plane limit</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 11 Ochranné uživatelské zóny - user-defined area</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 12 Bezpečnostní závora - SG2- Base 30 - Detekce rukou</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 13 STOP tlačítko Schneider Electric</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 14 Bezpečnostní releové moduly Mitsubishi</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 15 Ochranné okolí robotického ramene</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 16 Pohyb jednotlivých os robotického ramene</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 17 Zobrazení pohybů v kartézském systému</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 18 Příklad kloubového interpolačního pohybu</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 19 Příklad lineárního interpolačního pohybu</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 20 Příklad kruhového interpolačního pohybu</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 21 Blokové schéma pro úlohu: složení a rozložení stavby</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 22 Blokové schéma zapojení jednotlivých prvků aplikace</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 23 Blokové schéma - modré bloky jsou řízeny robotickým ramenem, zelené bloky jsou řízeny průmyslovým počítačem</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 24 Rozložení kostek na karuselu</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 25 Stavba složená robotickým ramenem</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 26 Diagram A – Start programu s kontrolou před začátkem stavby</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 27 Diagram B – Výběr kostky</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 28 Diagram C – Uložení kostky</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 29 Diagram D – Rozložení stavby</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 30 Otočný zásobník s kostkami</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 31 Vlevo - levé překladiště, Vpravo - pravé překladiště</i>	<i>55</i>

Seznam tabulek

<i>Tab. 1 Rozsah pohybu jednotlivých os.....</i>	<i>14</i>
<i>Tab. 2 Parametry pneumatického chapadla Schunk</i>	<i>16</i>
<i>Tab. 3 Souřadnice kostek (uložení v zásobnících)</i>	<i>20</i>
<i>Tab. 4 Výchozí pozice – v systému joint a v systému kartézské soustavy.....</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 5 Výška odkládací plochy zásobníků</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 6 Dostupné meze karuselu.....</i>	<i>22</i>
<i>Tab. 7 Tabulka tříd SIL</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 8 Závažnost zranění.....</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 9 Frekvence zranění</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 10 Třída pravděpodobnosti</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 11 třída pravděpodobnosti vyvarování se nebo omezení škody.....</i>	<i>26</i>
<i>Tab. 12 Souřadnice úvodních pozic kostek.....</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 13 Souřadnice kostek složených ve stavbě.....</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 14 Pozice pro snímání prostoru kamerou</i>	<i>53</i>
<i>Tab. 15 Testování aplikace složení a rozložení stavby</i>	<i>60</i>

1 Úvod

Robotika je odvětví zabývající se výzkumem sloužícím k ulehčení lidské práce. Postupným vývojem robotických mechanismů lze dojít k velkému komfortu při pracovních úkonech. Tzv. průmyslová robotika je využívána v mnoha různých odvětvích. Mezi její základní úkony patří manipulace s výrobky, jemná práce (zdravotnická zařízení), svařování, montáže a další. Ve většině případů se jedná o roboty s následujícími vlastnostmi – manipulační schopnost, automatická činnost, změna programu, univerzálnost, zpětná vazba a prostorová orientace.

Cílem této práce je vytvořit řídicí aplikace pro robotické rameno Mitsubishi. Jedná se o robotické rameno, které slouží převážně k manipulaci s lehkými předměty. Jeho úkolem je uchopení předmětu a jeho následné přesunutí z místa na místo. K uchopení předmětu slouží kleště nebo jiné námi zvolené zařízení. Robotické rameno obsahuje několik pomocných prvků, které slouží k jeho ochraně. Ochrana předdefinovanými prvky však není dostatečná, a proto využíváme ochrany konstrukce ve které je robotické rameno umístěno. Vyhodnocení bezpečnosti SIL bude sloužit k dalším návrhům zajišťující bezpečnost.

Návrh konstrukce byl vytvořen na základě požadavků, pro vytvoření budoucích aplikací. Konstrukce obsahuje zásobníky kostek, překladiště kostek a karusel. Zásobníky kostek slouží ke vkládání či odebrání kostek uživatelem. Překladiště umístěná na bočních stěnách, slouží k uchopení kostek pod správným úhlem. Karusel bude využíván k vytvoření stavby, neboť se jedná o desku Lego duplo. Veškeré komponenty byly testovány v době návrhu konstrukce, a za pomoci získaných výsledků byly některé parametry změněny pro lepší dostupnost robotického ramene.

Pro robotické rameno budou navrženy celkem dvě aplikace. První aplikace bude čistě demonstrační úloha, popisující pohyb robotického ramene a jeho následnou manipulaci s předměty, v tomto případě s Lego Duplo kostkami. Princip stavby spočívá v uchopení kostky z úvodní pozice a její přemístění na předem určené místo. Postupným odebráním kostek bude postavena předem určená stavba. Postavenou stavbu následně robotické rameno rozebere. Zpětným braním kostek a jejich uložení na úvodní pozice, dostaneme úvodní rozložení kostek. Druhá aplikace bude součástí větší rozšířené aplikace. Výsledná aplikace bude sloužit k postavení libovolné stavby. Průmyslový počítač zhodnotí stavbu a pošle informace o potřebné kostce a informace o okolním prostředí do CPU robotického ramene. Robotické rameno ze získaných informací vyhodnotí, kde se potřebná kostka nachází, odebere ji, přechytí pod lepším manipulačním úhlem, a najede s ní nad karusel. Následně předá řízení průmyslovému počítači, který obsahuje samostatnou řídicí aplikaci. Tato aplikace vyhodnotí překážky a uloží kostku za pomoci robotického ramene na pozici tak aby nedošlo ke kolizi. Následně průmyslový počítač předává řízení zpět robotickému ramenu. Po složení stavby bude následovat její rozložení obdobným způsobem.

2 Robotika

Robotika jako věda zabývající se různými aspekty v souvislosti s roboty se člení na:

- Teoretickou – řeší otázky teoretické, koncepční, umělé inteligence, senzoriky, navigace, simulace, aj.
- Technickou – označovanou též jako robotechnika, zahrnující výzkum (aplikační a průmyslový) a vývoj jednotlivých subsystémů robotů, výpočty, metody jejich návrhu, konstrukční problematiku, provoz, údržbu, aj.
- Aplikační – označovanou také jako robototechnologie, řeší problematiku nasazování průmyslových robotů ve výrobních systémech a jejich efektivnosti, projektování těchto systémů s PR, periferie robotizovaných pracovišť, programování robotů, aj. [1]

Robot je automatický nebo počítačem řízený integrovaný systém, schopný autonomní cílově orientované interakce s přirozeným prostředím podle instrukcí od člověka. Tato interakce spočívá ve vnímání a rozpoznávání tohoto prostředí a v manipulování s předměty a popř. pohybování se v tomto prostředí. [2]

Robotizované pracoviště – je účelové seskupení výrobních zařízení a jednoho či více průmyslových robotů, které autonomně, v automatickém pracovním cyklu vykonává manipulační a nebo technologické operace daného výrobního procesu. [1]

2.1 Průmyslový robot

Je složitějšího provedení, a vyznačuje se následujícími vlastnostmi:

- Manipulační schopnost, tj. uchopení a přemísťování předmětů, různé montážní úkony, úprava předmětů, zacházení s pomocnými předměty (nástroji).
- Autonomnost chování, tj. složitá posloupnost úkonů je prováděna automaticky podle určitého programu. Důležitý je zejména případ, kdy tento program není pevný, ale je volitelný buď člověkem nebo automaticky vlastním režimem.
- Univerzálnost ve smyslu „víceúčelovosti“. Zařízení neslouží pouze k jedinému účelu, ale k více, někdy dosti rozmanitým účelům. To souvisí s možností změny programu, jež má být jednoduše a rychle proveditelné.
- Existence vazby s prostředím (vnímáním). Kromě jednoduchých mechanických (dotekových) a elektromagnetických čidel lze u složitějších systémů počítat i s vizuální a akustickou vazbou.
- Prostorová soustředěnost jednotlivých složek (integrálnost) pokud možno do jednoho objektu. Důsledkem je kromě jiného též snadná transportovatelnost, v některých případech lze požadovat, aby systém byl mobilní. [2]

2.1.1 SCARA

Robotická ramena jsou navržena pro využití v průmyslu. Standard IP54 pro roboty SCARA a IP67 pro vertikální roboty. Standart IP54 pro ochranu v prašném prostředí a částečně proti vodě. Standart IP67 (úplně proti prachu a proti ponoření do vody) pro celkovou ochranu a zajištění bezpečnosti (potravinářský a nápojový průmysl).

Typy robotických ramen:

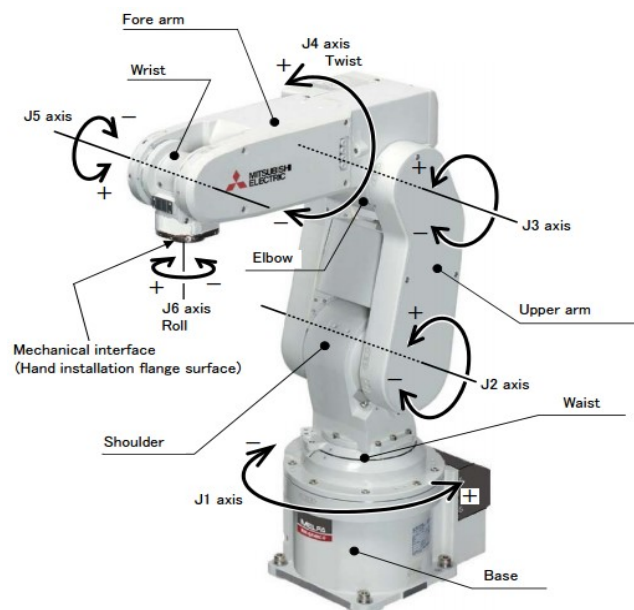
- Vertikální klouboví roboti – využívá se pro komplexní montážní činnosti. Užitečné zatížení 2 kg – 70 kg.
- SCARA – montáž malých dílů a těžkých předmětů. Slouží například k manipulaci a balení. Užitečné zapojení 3 kg – 20 kg.
- SCARA pro montáž nad hlavou – zvlášť vhodné pro velmi rychlou manipulaci s elektronickými součástkami a jejich zabudování. Užitečné zatížení 1 kg – 20 kg.

Roboti pro jemnou práci – mají velký výkon. Speciálně navržené pro mikro manipulaci (montáž hodiněk, telefonů nebo naslouchacích přístrojů). Neporazitelné v přesnosti, rychlosti a kompaktnosti. Užitečné zatížení: 1 kg – 5 kg

2.2 Šestiosé robotické rameno RV-2F-Q

Robotické rameno RV-2F-Q-SH je 6osé zařízení. Jedná se o vertikální kloubové rameno, které se využívá pro komplexní montážní činnosti. Pro svůj pohyb využívá šest servomotorů, které se otáčejí různými směry v návaznosti na zadané pozice. Maximální zatížení robotického ramene jsou 2 kg. Robotické rameno je možno ovládat automaticky pomocí programu RT Toolbox2 anebo pomocí tzv. Touch panelu.

Robotická ramena jsou standardně dodávána bez jakéhokoliv úchopového zařízení. Možnost výběru úchopového zařízení je velmi rozmanitá, a tak je na každém uživateli, aby si toto zařízení vybral samostatně. Pro naše použití bylo zapotřebí zařízení, které sevře předmět a následně ho po přesunutí zase rozevře. Zařízení také nesmělo být příliš těžké, aby zbytečně nezatěžovalo robotické rameno. Zvolili jsme pneumatický úchop Schunk 310940.



Obr. 1 Robotické rameno RV – 2F – Q popis pohybových os

2.2.1 Technické parametry robotického ramene

Robotické rameno se skládá z 6 pohybových os, které jsou řízeny za pomoci servomotorů. Pohybové osy jsou rozděleny na osy J1, J2, J3, J4, J5, J6, kdy osy J2, J3 a J5 jsou vybaveny brzdou, což znamená, že s nimi nelze pohnout i když je robotické rameno vypnuté, s ostatními osami hýbat lze. Jednotlivé osy mají různé rozsahy pohybu, a pohybují se různou rychlostí, tyto rozsahy jsou uvedeny v tabulce Tab. 1. Veškeré osy jsou vybaveny ochranou IP30.

Tab. 1 Rozsah pohybu jednotlivých os

Osa	Rozsah pohybu (Od – do)	Rychlost pohybu (°/s)
J1	-240° +240°	300
J2	-120° +120°	150
J3	0° +160°	300
J4	-200° +200°	450
J5	-120° +120°	450
J6	-360° +360°	720

Výsledná rychlost pohybu robotického ramene je 4,95 mm/s, což je odvozeno od jednotlivých rychlostí os. Doporučené zatížení robotického ramene jsou 2 kg, maximální nosnost je však vyšší, celkem 3 kg.

Přesnost robotického ramene je $\pm 0,02$ mm. Teplota prostředí, ve kterém robotické rameno pracuje nesmí klesnout níže než na 0°C a nesmí překročit 40°C .

Technické parametry kontroléru:

Pro komunikaci používáme kontrolér CR750-02VQ-1, který využívá programovací jazyk navržený firmou Mitsubishi – Melfa Basic IV, V. Propojení počítače je zajišťováno několika metodami:

- USB – přímé propojení počítače a robotického ramene.
- Ethernet – propojení po síti (zajištěno pomocí kabelu nebo sítě Wi-Fi).
- RS-422 – jedná se o sběrnici pomocí níž přenášíme data.

V našem případě využíváme komunikaci pomocí ethernetu, kdy je možné se k robotickému ramenu připojit z jakéhokoli počítače v učebně. Provozní teplota kontroléru nesmí klesnou pod 0°C a zároveň nesmí překročit 40°C . Vlhkost prostředí ve kterém je kontrolér používán musí být v rozmezí od 45 do 85% RH.

2.2.2 Elektrický úchop Schunk 310940

Tento úchop slouží k uchycení, přesunutí a následnému puštění předmětu. Chapadlo je ovládáno elektricky (dvě polohy – otevřít / zavřít). Úchopové zařízení můžeme volit i vzduchově ovládané, vzhledem k větší kabeláži a nutnosti přívodní vzduchové hadice je však tato možnost dost nepraktická, a proto ji nevyužíváme.



Obr. 2 Elektrický úchop Schunk 310940

Tab. 2 Parametry pneumatického chapadla Schunk

Zdvih za čelistí [mm]	6
Minimální síla úchopu [N]	35
Stálá síla úchopu [N]	140
Doporučená hmotnost obrobku [kg]	0,7
Max. přípustná délka prstů [mm]	50
Max. přípustná hmotnost na prstu [kg]	0,08
Přesnost opakování [mm]	0,02
Doba sepnutí [s]	0,2
Doba otevření [s]	0,2
Váha [kg]	0,32
Min. teplota okolí [°C]	5
Max. teplota okolí [°C]	55
Třída ochrany IP	30
Emise hluku [dB (A)]	<70
Jmenovité napětí [V DC]	24
Jmenovitý proud [A]	0,2
Max. proud [A]	2
Elektroniky kontroléru	Integrovaný
Komunikační rozhraní	Digitální vstupy
Počet digitálních vstupů	2
Moment Mx max. [Nm]	1,5
Moment My max. [Nm]	2
Moment Mz max. [Nm]	4
Síla Fz max. [N]	170

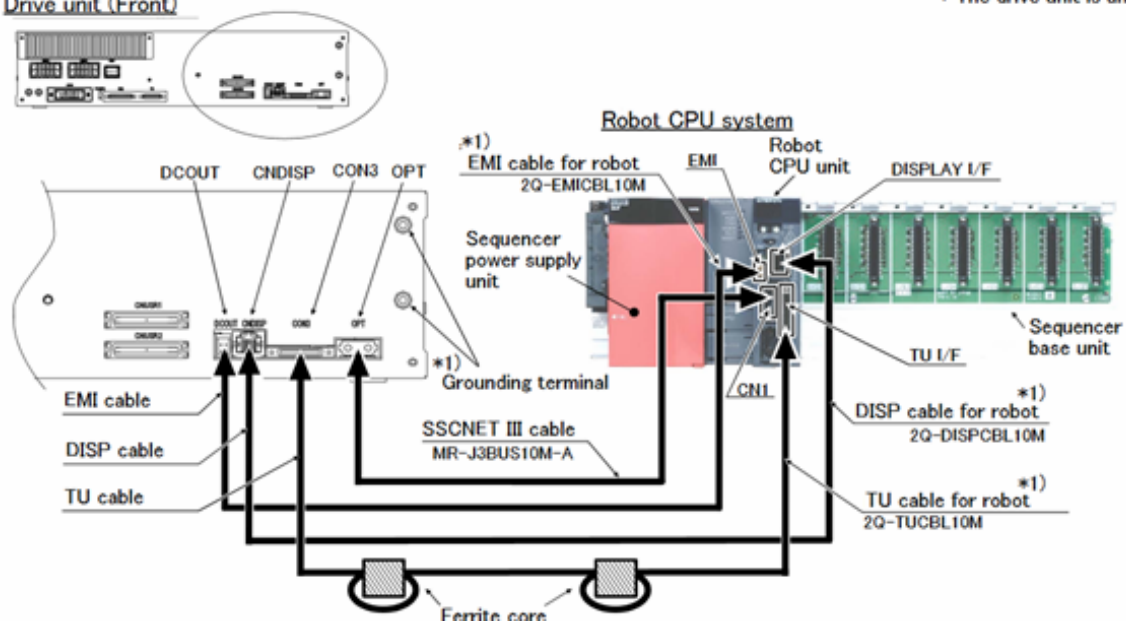
Úchopové zařízení Schunk bylo po zapojení otestováno a upraveno. K danému zařízení byly připojeny delší kleště tak aby bylo možné uchopit předměty. Úchopové zařízení má maximální sílu stlačení, kterou lze regulovat. Lze nastavit 25, 50, 75 a 100 % síly stlačení. Při použití největší možné síly dochází k zakřivení kleští, neboť vzdálenost mezi kleštěmi je menší než rozměr přesouvaných předmětů (lego kostek). Proto je nastavená síla poloviční a kleště upraveny tak, aby nedocházelo k prokluzování přenášených předmětů (silikonový nátěr svírací plochy).

2.2.3 Q platforma a připojení robotického ramene

Kontrolér robotického ramene je připojen k CPU robotického ramene (při nesprávném zapojení zařízení nelze spustit). V případě chyb, které se mohou vyskytnout jak při startu, tak i při provozu, je nutné Q platformu restartovat.

Drive unit (Front)

* The drive unit is an example



Obr. 3 Zapojení kontroléru k CPU

K propojení robotického ramene s řídicím počítačem je možné několika způsoby. Nejdůležitějším krokem je nastavení kontroléru za pomoci programu MELSOFT Series GX Works2. Poté je možné propojit robotické rameno přímo s programem RT ToolBox2 za pomoci několika metod.

Mezi tyto metody patří:

- Připojení pomocí sběrnice RS-232.
- Připojení pomocí protokolu TCP/IP.
- Připojení pomocí CRnQ.
- Připojení pomocí USB kabelu.
- Připojení GOT.

Project name: RC-RV-2F-Q

Communication setting

R/C type: CRnQ-7xx/CR75x-Q

Method: TCP/IP Detail...

IP Address=158.196.133.152
 Port=10001
 Send Timeout=5000msec
 Recieve Timeout=30000msec

Model Selection for Offline

Robot model: RV-2F-Q Select...

Language: MELFA-BASIC V

Travel base setting for display

Only travel base information for display is set here. To change the movement range of the travel axis, change the parameters.

Travel base: Not used Detail...

☒ Set the additional axis parameter of the simulation automatically by the content of the above setting.

Please clear the checkbox when you set the parameter of the additional axis by manually.

IP Address: 8.196.133.152
 Port : 10001
 Transmission Timeout Time : 5000 (msec)
 Reception Timeout Time : 30000 (msec)
 Number of Retries : 0

OK Cancel OK Cancel

Obr. 4 Připojení pomocí TCP/IP

Pro úspěšné připojení je nutné správné nastavení IP adres.

Menu: Copy PC network settings

IP address

Device & Line

Realtime monitor

Real-time external command

IP address: (NETIP) 158 . 196 . 133 . 151

Subnet mask: (NETMSK) 255 . 255 . 255 . 0

Default gateway: (NETGW) 158 . 196 . 133 . 129

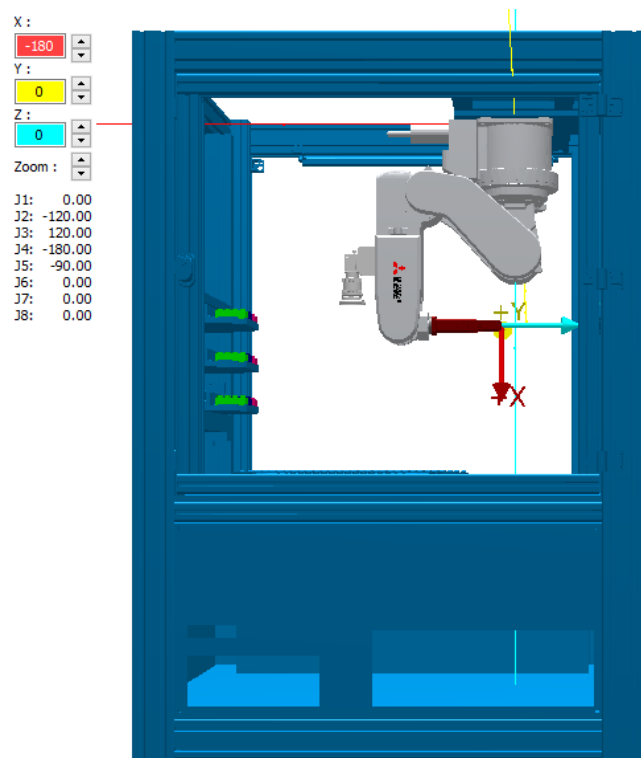
Obr. 5 Nastavení IP adres pro správné připojení

3 Koncepce robotického pracoviště

Na současném robotickém pracovišti je využíváno robotické rameno Mitsubishi RV-7F-Q-SH. Toto robotické rameno je nainstalované v konstrukci, která byla navržena pracovníky katedry kybernetiky a biomedicínského inženýrství. Ještě před zadáním výroby konstrukce bylo provedeno testování pomocí simulátoru za pomoci programu RT Toolbox. Provedené testování ukázalo, nedokonalost návrhu a bylo třeba jej upravit tak, aby robotické rameno dosáhlo na všechna potřebná místa.

3.1 Popis konstrukce robotického pracoviště

Na Obr. 6 lze vidět návrh konstrukce i s robotickým ramenem. Na paži robotického ramene je umístěna kamera. Na chapadle robotického ramene je umístěn senzor vzdálenosti (na obrázku není zakreslen). Na levé nejvzdálenější straně od robotického ramene, jsou umístěny tři kruhové otočné zásobníky, které slouží k vložení či odebrání kostek uživatelem a také k odebrání či vkládání kostek robotickým ramenem. Pro stavby objektů využíváme kostky ze stavebnice Lego Duplo. Na podlaze konstrukce pod robotickým ramenem je umístěný karusel, který slouží jako podstavec pro skládání kostek. Jedná se v podstatě o lego desku, pro snadné umísťování kostek. Na pravé straně konstrukce jsou umístěné dvířka pro snadnou manipulaci uvnitř prostoru. Manipulace prostoru je nutná v případě, že dojde k chybě či nehodě. Mezi nehody je počítáno upuštění kostek, špatné uložení kostky a další situace, které není možné vyřešit za pomoci robotického ramene a je nutný zásah uživatele.



Obr. 6 Návrh konstrukce pro robotické rameno – simulátor RT Toolbox2

Na jednotlivých zásobnících jsou umístěny vždy tři kostky, o různých velikostech. Nejmenší kostka má rozměry 32 x 32 mm, střední kostka má rozměry 32 x 40 mm a největší kostka má rozměry 32 x 48 mm. Každá kostka má pevně dané souřadnice, na kterých se nachází viz. Tab. 3 Veškeré souřadnice jsou uváděny za pomoci kartézské soustavy. Nulový bod kartézské soustavy je umístěn v základně robotického ramene.

Tab. 3 Souřadnice kostek (uložení v zásobnících)

	Kostka	Souřadnice X	Souřadnice Y	Souřadnice Z
Vrchní zásobník	2x2	-585	-59,5	443
	3x2	-601	0,5	443
	4x2	-617	60,5	443
Prostřední zásobník	2x2	-585	-59,5	538
	3x2	-601	0,5	538
	4x2	-617	60,5	538
Spodní zásobník	2x2	-585	-59,5	633
	3x2	-601	0,5	633
	4x2	-617	60,5	633

V následujícím textu budou kostky označovány jako:

Kostka 32 x 32 mm ... jako kostka 2x2

Kostka 32 x 40 mm ... jako kostka 2x3

Kostka 32 x 48 mm ... jako kostka 2x4



Obr. 7 Využívané kostky, zleva 2x2, 2x3 a 2x4

3.2 Testování dosažitelnosti RR v simulátoru

Nejdříve bylo nutné nalézt ideální polohu ze které bude robotické rameno začínat svůj pohyb. Jedná se o výchozí pozici, ze které bude robotické rameno začínat svůj pohyb. Tato pozice také slouží jako výchozí pozice pro snímání kamerou. Pro nejlepší dosažitelnost a dostupnost byly zvoleny následující souřadnice:

Tab. 4 Výchozí pozice – v systému joint a v systému kartézské soustavy

JOINT		XYZ	
J1:	0	X:	-29,76
J2:	-120	Y:	-0,01
J3:	120	Z:	450
J4:	-180	A:	94,24
J5:	-90	B:	-90
J6:	0	C:	-85,76

Danou úvodní pozici lze vidět na Obr. 6

Následně bylo třeba otestovat, zda robotické rameno dosáhne na jednotlivé otočné zásobníky kostek. Na každém zásobníku jsou umístěny tři kostky o různých velikostech. Pomocí simulátoru byl navržen program pro přesouvání jednotlivých kostek ze zásobníku na karusel. Ke každému ze zásobníků, bylo nutné najet robotickým ramenem, tak aby bylo možné vzít kostku. V případě odebrání největší kostky, bylo nutné počítat s rezervou, neboť kleště chapadla nejsou dostatečně velké. Nejmenší i střední kostku, lze vzít tak, že nepřesahují kleště chapadla. Za pomoci programu v simulátoru bylo prokázáno, že jednotlivé zásobníky nejsou v ideální pozici pro přesun kostek. Návrh konstrukce byl tedy přepracován, tak aby vyhovoval požadavkům konstrukce. V následující tabulce je uvedena změna výšky zásobníků.

Tab. 5 Výška odkládací plochy zásobníků

	Původní výška [mm]	Současná výška [mm]
Vrchní zásobník	353	443
Střední zásobník	483	538
Spodní zásobník	613	633

Vrchní zásobník bylo nutno posunout níže, neboť jeho výška nebyla v dosahu robotického ramene. Naopak spodní zásobník bylo nutné posunout výš, neboť bylo možné kostky pokládat pouze pod úhlem a z větší výšky, než bylo potřeba. Střední zásobník byl poté přesunut tak, aby byl ve středu zásobníků.

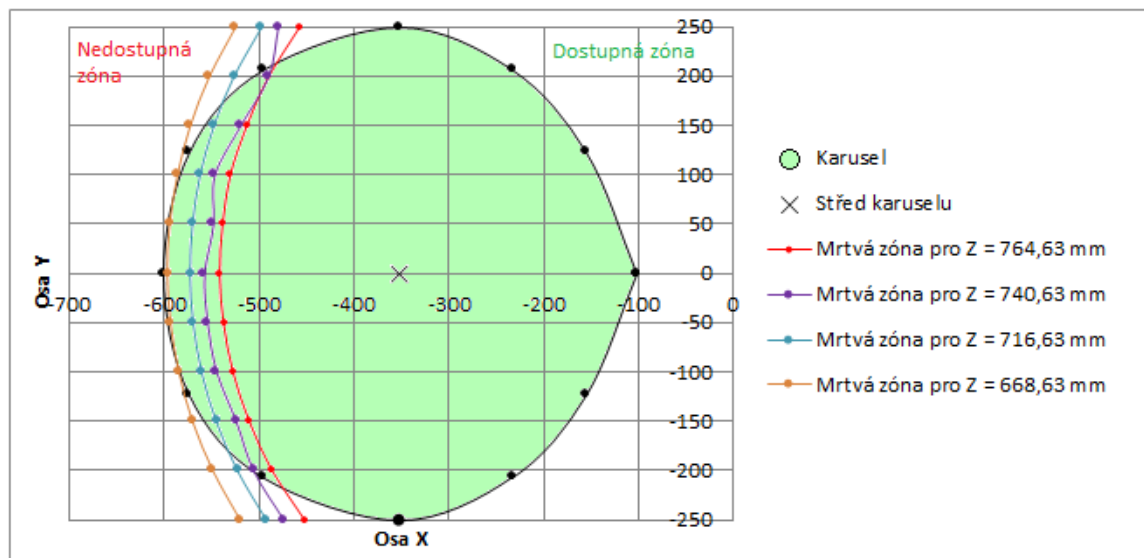
Pro snadné ukládání byly do konstrukce přidány dva boční překladače na volné stěny, zhruba ve výšce spodního zásobníku. Tyto překladiště slouží k přechycení kostek odebraných z vrchního a prostředního zásobníku. Tyto kostky nelze chytit pod takovým úhlem aby je bylo možné uložit na karusel. Fotografie překladišť lze vidět na Obr. 31.

Testování dosažitelnosti karuselu:

Karusel byl testován pro možnost uložení kostky shora dolů, tedy svisle na vodorovnou plochu. Celá vyznačená plocha na obrázku je dostupná, pouze pokud měníme využívaný systém souřadnic. Pro souřadnicový systém XYZ, se na testované ploše nacházejí singulární body, přes které není možné s robotickým ramenem přejít. V následující tabulce jsou uvedeny dostupné pozice, kde je možné umístit kostku. Mimo vyznačenou plochu není uložení kostek možné. Testování bylo prováděno pro různou výšku uložení kostek, aby bylo možné kostky skládat na sebe.

Tab. 6 Dostupné meze karuselu

Karusel		Mrtvá zóna pro Z = 764,63 mm		Mrtvá zóna pro Z = 740,63 mm		Mrtvá zóna pro Z = 716,63 mm		Mrtvá zóna pro Z = 668,63 mm	
Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	X [mm]
0	-101,5	-250	-452	-250	-473,43	-250	-491,32	-250	-519,9
-122,88	-154,88	-200	-486	-200	-505,6	-200	-521,83	-200	-548,27
-206,48	-232,71	-150	-510	-150	-524,14	-150	-544,19	-150	-569,52
-250	-351,5	-100	-527	-100	-544,77	-100	-559,7	-100	-583,79
-206,48	-496,52	-50	-537	-50	-554,73	-50	-568,76	-50	-592,56
-122,88	-574,35	0	-541	0	-557,76	0	-572,09	0	-595,99
0	-601,5	50	-538	50	-548,47	50	-569,54	50	-593,55
122,88	-574,35	100	-530	100	-546,97	100	-561,61	100	-585,57
206,48	-496,52	150	-513	150	-519,75	150	-547,05	150	-572,26
250	-351,5	200	-490	200	-489,89	200	-526	200	-552,39
206,48	-232,71	250	-458	250	-479,55	250	-496,79	250	-525,17
122,88	-154,8	-	-	-	-	-	-	-	-
0	-101,5	-	-	-	-	-	-	-	-



Obr. 8 Dosažitelné zóny karuselu robotickým ramenem

4 Bezpečnost robotického pracoviště

Systémy navrhované pro bezpečnostní účely se již dlouho používají jako součást ochranných systémů v podmínkách průmyslové výroby tam, kde existuje nebezpečí újm na zdraví či životech lidí nebo poškození životního prostředí. Tyto systémy a zařízení související s bezpečností, tzv. bezpečnostní, jsou nezávislé na běžném řídicím systému a v případě jeho nesprávné činnosti udržují technologický provoz v bezpečném stavu. [3]

4.1 Určení bezpečnosti

Z ryze funkčního hlediska platí, že čím efektivněji stroj vykonává svůj úkol zpracování, tím je lepší. Aby však stroj byl skutečně efektivní, musí být také bezpečný. Bezpečnost je nutno pokládat za nejdůležitější hledisko. Dle normy ČSN EN 62061 musí být řídicí funkce navrženy pro každé potenciální nebezpečí samostatně. Bezpečností robotů a manipulátorů se zabývá norma: ČSN EN ISO 10218.

Prvním krokem je posouzení rizik, založené na jasném pochopení limitů stroje a jeho funkcí i rozsahu úkolů, které možná bude na stroji během celé jeho životnosti nutné vykonat. V případě potřeby se poté provede omezení rizik a na základě informací vyplývajících z posouzení rizik se vyberou vhodná bezpečnostní opatření. Způsob, jímž se to provede, tvoří základ bezpečnostní strategie pro stroj.

4.1.1 Odhad rizika pomocí hodnot SIL

Slouží k vyhodnocení možného rizika za pomoci bodování, dle určitých parametrů. Nejprve je nutné vyhodnotit třídu pravděpodobnosti CI, kterou určíme součtem frekvence (Fr), třídy pravděpodobnosti vyvarování se nebo omezení škody (Av) a třídy pravděpodobnosti (Pr). $CI = Fr + Av + Pr$. Danou hodnotu SIL určíme za pomoci hodnoty CI a za pomoci Závažnosti Se, dle následující tabulky:

Tab. 7 Tabulka tříd SIL

Závažnost (Se)	Třída CI				
	3-4	5-7	8-10	11-13	14-15
4	SIL2	SIL2	SIL2	SIL3	SIL3
3		(OM)	SIL1	SIL2	SIL3
2			(OM)	SIL1	SIL2
1				(OM)	SIL1

Při odhadování rizika je třeba vzít v úvahu jak závažnost možné škody, tak pravděpodobnost jejího výskytu. Při odhadování rizika se zabýváme následujícími oblastmi:

Závažnost potenciálního zranění (Se) – předpokládáme, že obsluha je vystavena nebezpečnému pohybu nebo procesu. Závažnost hodnotíme následujícím způsobem:

Tab. 8 Závažnost zranění

Následky	Závažnost
Trvalé: smrt, ztráta oka, paže	4
Trvalé: zlomenina končetiny, ztráta prstů	3
Přechodné: Vyžadující ošetření praktickým lékařem	2
Přechodné: Vyžadující ošetření první pomoci	1

Četnost (frekvence) vystavení (Fr) – odpovídá na otázku, jak často je pracovník obsluhy nebo údržbář vystaven riziku. Četnost vystavení riziku lze klasifikovat následujícím způsobem:

Tab. 9 Frekvence zranění

Frekvence ohrožení	Doba trvání > 10 min
≤ 1 h	5
> 1 h až ≤ 1 den	5
> 1 den až ≤ 2 týdny	4
> 2 týdny až ≤ 1 rok	3
> 1 rok	2

Pravděpodobnost zranění (Pr) – Při zvažování způsobu, jímž je pracovník obsluhy zapojen do interakce se strojem, a jiných faktorů (například rychlosti spuštění) lze pravděpodobnost zranění klasifikovat následujícím způsobem:

Tab. 10 Třída pravděpodobnosti

Pravděpodobnost výskytu	Pravděpodobnost
Velmi vysoká	5
Pravděpodobná	4
Možná	3
Výjimečná	2
Zanedbatelná	1

Třída pravděpodobnosti vyvarování se nebo omezení škody (Av) - s jakou pravděpodobností je možné se riziku vyvarovat.

Tab. 11 třída pravděpodobnosti vyvarování se nebo omezení škody

Pravděpodobnost vyvarování se nebo omezení škody	
Nemožná	5
Možná za určitých podmínek	3
Pravděpodobné	1

Možná rizika:

- Proražení plexiskla a následné zranění – robotické rameno nemá dostatečný ochranný systém, který by zabráňoval proražení plexiskla. V případě vysoké rychlosti robotického ramene, může dojít ke zničení plexiskla, určitou částí robotického ramene. Ochranná klec Free plane limit, slouží pouze k zabránění nárazu chapadla do plexiskla. V případě proražení plexiskla může dojít k nárazu robotického ramene do uživatele a následnému zranění.
- Zranění rukou způsobené stiskem chapadla – v současné době, není zajištěné zastavení robotického ramene při otevření dvířek ke konstrukci. Robotické rameno tedy pokračuje v pohybu i v případě, že jsou dveře otevřené a uživatel uvnitř konstrukce pracuje. V takovém případě může dojít ke stisku končetiny či k nárazu robotického ramene do uživatele a k následnému zranění.

Vyhodnocení možných rizik:

Závažnost zranění:

Se = 3 ... robotické rameno může způsobit závažné zranění, např.: zlomeninu či jiný úraz. Ke zranění může dojít při nepřiměřené rychlosti ramene a nedostatečném odstupu uživatele a robotického ramene.

Frekvence vystavení ohrožení:

Fe = 5 ... v laboratoři se studenti vyskytují denně.

Třída pravděpodobnosti výskytu nebezpečí:

Pr = 3 ... při vstupu do konstrukce je zranění možné.

Třída pravděpodobnosti vyvarování se nebo omezení škody:

Av = 3 ... za určitých podmínek, například po provedení odborného školení je možné se riziku vyvarovat.

Celková třída pravděpodobnosti škody:

$$Cl = Fr + Av + Pr = 5 + 3 + 3 = 11$$

$$\text{Závažnost} = 3$$

Úroveň integrity bezpečnosti = SIL2.

4.1.2 Odhad rizika dle normy EN ISO 13849 – Pl

Norma EN ISO 13849 pojem SIL nepoužívá, namísto toho používá pojem PL (Performance level – úroveň vlastností). V mnoha ohledech lze PL vztáhnout k SIL. Existuje pět úrovní vlastností: PLa je nejnížší a PLe je nejvyšší. [3] Úroveň vlastností určíme pomocí parametrů S, F a P.

Parametr S (úroveň zranění) - závažnost zranění – uvažována jsou lehká zranění bez nutnosti návštěvy lékaře, zranění lehká s nutnou asistencí lékaře, těžká zranění smrt.

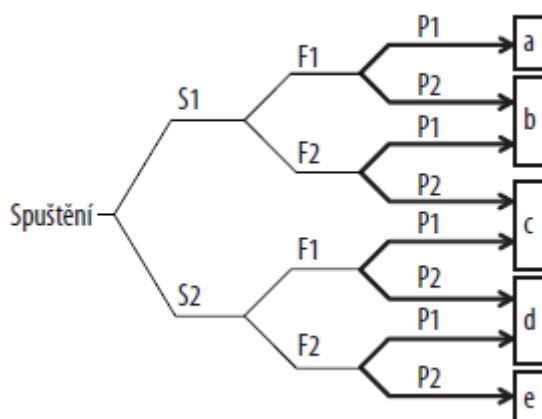
- S1 – jedná se o zranění, kdy není nutná návštěva lékaře (pohmožděniny, modřiny, tržné rány).
- S2 v ostatních případech.

Parametr F (frekvence a četnost zranění) - četnost / doba vystavení nebezpečí.

- F1 – volí se, není-li osoba vystavena nebezpečí často, ale spíše výjimečně.
- F2 – musí být zvolen, pokud je osoba vystavena nebezpečí často, nebo nepřetržitě.

Parametr P (možnost vyloučení nebezpečí) - Možnost vynutí se nebo vyloučení nebezpečí.

- P1 – v případě, že je reálná možnost vyloučení rizika.
- P2 – v případě, že není téměř žádná možnost vyloučení nebezpečí.



Obr. 9 Graf bezpečnostního rizika

Vyhodnocení možných rizik:

S2 – zlomeniny a jiné.

F1 – neustálá přítomnost studentů v laboratoři.

P1 – vyloučení rizika je možné.

Hodnota Pl = Plc

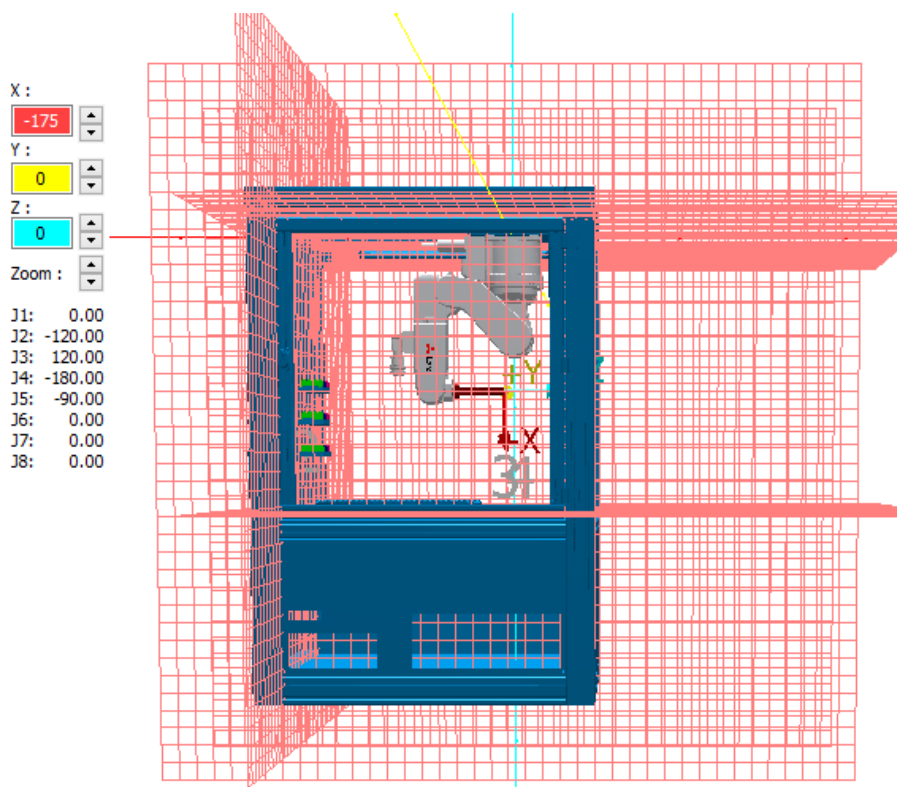
4.2 Vytvoření ochranných prvků

Robotické rameno je v podstatě nechráněné proti nárazu. Vytvořením několika ochranných prvků bude zabráněno kolizi chapadla a stěn konstrukce. Ovšem nebude zabráněno kolizi těla robotického ramene a konstrukce. Některé funkce lze omezit (např. otočení), ale při neodborné manipulaci může dojít k nevratnému poškození. Za neodbornou manipulaci lze považovat nastavení náhodných souřadnic při vysoké rychlosti, kdy již nebude reálně možné zabránit kolizi.

4.2.1 Free plane limit

Tyto zóny slouží k zabránění kolizi úchopového zařízení robotického ramene a okolí. Vytvořením tzv. bezpečnostních ploch bude zabráněno kolizi. Principem je souřadnicový systém. Chapadlo robotického ramene má svůj středový bod, dle kterého se orientuje v prostoru a podle nějž se přesouvá do předem určených pozic. Bezpečnostní plocha je síť, která je určena třemi body. Systém robotického ramene tuto síť zná a v případě, že se chapadlo robotického ramene do této sítě dostane, dojde buďto ke zvukovému varování anebo k zastavení servomotorů (dle nastavení uživatele). V tomto případě dojde přímo k vypnutí servomotorů a vyvolání chybového stavu.

Nastane-li situace kdy do bezpečnostní sítě najede tělo robotického ramene (chapadlo zůstane mimo síť) bezpečnostní systém nezareaguje. Narazí-li tělo robotického ramene do překážky za danou síť, bude se snažit pokračovat dále v cestě, dokud nedojde k přetížení servomotorů a tím k zastavení pohybu.

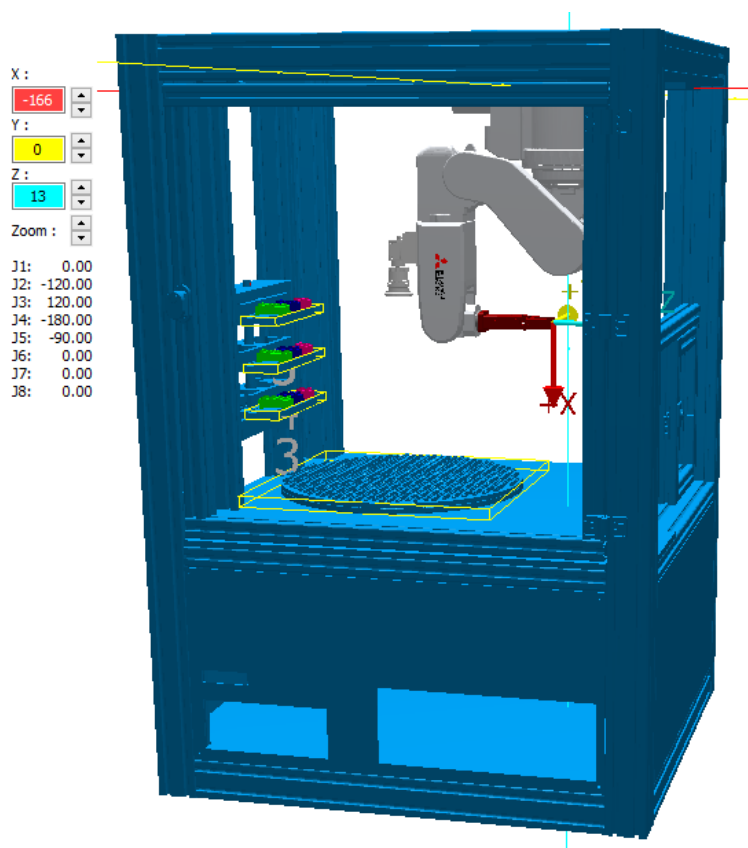


Obr. 10 Free plane limit

4.2.2 User-defined area

Jedná se o oddělené zóny mimo pracovní prostor robotického ramene (kvádry). Slouží k ochraně objektů, které jsou v daném prostoru. Chapadlo robotického ramene se k těmto předmětům nedostane, tělo robotického ramene ovšem ano. Lze vytvořit dva typy zón, a to zónu informativní a zakázanou. V případě překročení informativní zóny bude aktivována akustická signalizace. V druhém případě dojde k zastavení servomotorů a vyvolání chybové situace.

K vytvoření dané zóny stačí dva body v prostoru. Každá zóna chrání určitou část konstrukce. Pro zabránění kolize bylo vytvořeno několik ochranných uživatelských zón a to pro: všechny zásobníky, obě překladiště a také pro karusel.



Obr. 11 Ochranné uživatelské zóny - user-defined area

4.3 Zvýšení bezpečnosti uživatele

Cílem je, aby v žádném případě nemohlo dojít k úrazu uživatele, který obsluhuje robotické rameno. Základní ochranu tvoří konstrukce, ve které je umístěno robotické rameno. Tato konstrukce je tvořena z železného rámu a její výplň tvoří plexisklo. Plexisklo samo o sobě nezabrání pohybům robotického

ramene, a proto je cca 4 cm před plexisklem bezpečnostní zóna. Zóna free plane limit zajišťuje zastavení robotického ramene v případě špatně zadaných souřadnic způsobenou neznalostí.

Tato konstrukce má z jedné strany vstupní okno, které slouží k manipulaci v prostoru konstrukce. Například ke zvednutí kostky, která je mimo dosah robotického ramene nebo například při výměně úchytné zařízení chapadla, či k jiným opravám. Vzhledem k nutnosti manipulace v nebezpečném prostoru je nutno vstup zabezpečit tak aby nedošlo k úrazu. V tomto případě je možné využít světelné závory nebo například pohybových senzorů. Dvířka ani jiné pevné krytování není možné využít, neboť v daném prostoru jsou umístěny zásobníky kostek a je nutná manipulace v prostoru.

Návrh pro zvýšení bezpečnosti uživatele:

4.3.1 Světelné závory

Slouží k detekování přítomnosti / vstupu nežádoucí osoby do nebezpečného prostoru. Instalace se provádí dle normy ISO 13855. Nejjednodušeji je lze popsat jako fotoelektrické snímače, speciálně navržené k ochraně personálu před zraněními souvisejícími s nebezpečnými pohyby stroje. Nabízejí optimální bezpečnosti, avšak současně umožňují větší produktivitu a ekonomičtější řešení než mechanické kryty. Jsou ideálně vhodné tam, kde personál potřebuje častý a snadný přístup k určitému bodu spojenému s nebezpečím provozu. [3]

Pro zajištění bezpečnosti je potřeba světelná závora o výšce 110 cm. Tato závora musí detekovat jakýkoliv pokus o vstup do konstrukce robotického ramene. Tyto závory pak budou umístěny ve vstupních dveřích robotického ramene.

Pro zajištění bezpečnosti tedy lze použít **závoru SG2 – Base 30 – detekce rukou**. Jedná se o závoru která slouží k ochraně rukou. Tato závora odpovídá bezpečnostní kategorii SIL 2 nebo také PL d a je v souladu s normami EN ISO 13849-1 a EN 62061. Hlídaná výška je nastavitelná od 150 do 1800 mm. Dosah snímání je až 19m. V tomto případě je dostatečný dosah 1 m. Principem závory je detekce zkratu na výstupu, tedy v případě, že uživatel překročí světelné závory dojde k zastavení robotického ramene.



Obr. 12 Bezpečnostní závora - SG2- Base 30 - Detekce rukou

4.3.2 STOP tlačítko

STOP tlačítko slouží k nouzovému zastavení či vypnutí zařízení. Jedná se o speciální způsob zastavení stroje v případě, že ostatní opatření nefungují nebo sám uživatel není schopen provést normální zastavení z důvodu zranění. Použití STOP tlačítka může být také rychlejší než standardní zastavení.

Nouzové zastavení - zastavení procesu nebo pohybu, který je pro uživatele nebezpečný. Toto zastavení musí být co nejrychlejší, aby nedocházelo k dalším škodám či úrazům.

Nouzové vypnutí - nouzové vypnutí zdroje elektrické energie všech částí instalace, kde hrozí zásah elektrickým proudem nebo jiné nebezpečí způsobené elektrickým proudem. Zařízení je plně odpojeno od elektrického proudu tak aby bylo zabráněno úrazu či škodám (případně zhoršení následků nehody)

U STOP tlačítka dělíme zastavení do třech kategorií:

STOP kategorie 0 - neřízené zastavení bezpečnostním vypnutím, tj. zastavení pohybu stroje vypnutím přívodu energie do pohonů stroje, přičemž jsou v činnosti brzdy a mechanické přístroje určené k zastavení

STOP kategorie 1 - řízené zastavení bezpečnostním vypnutím, tj. zastavení pohybu stroje jakmile řídicí systém přijme povel k zastavení, přičemž výkonové části stroje zůstanou během procesu zastavování pod napětím.

STOP kategorie 2 - řízené zastavení, při kterém akční členy řídicího systému zůstávají pod napětím

Robotické pracoviště již obsahuje dvě STOP tlačítka. Tyto tlačítka však nejsou dostupné z ideální polohy. První STOP tlačítko je umístěno na řídicí skříni, která je umístěna v konstrukci pod robotickým ramenem a není snadno dostupná. Nelze tedy říct, že by tlačítko bylo na viditelném a dostupném místě, uživatel, který by nevěděl, kde se dané tlačítko nachází by jej nejspíše nenašel. Druhé bezpečnostní tlačítko STOP se nachází na Touch panelu. Touch panel je připojen k řídicí jednotce robotického ramene a lze jej přenášet okolo celé konstrukce. Je tedy dobře dostupné, ovšem v případě, že daný Touch panel odpojíme, nebude možné STOP tlačítko využít.

Z tohoto důvodu je nutné na konstrukci umístit třetí STOP tlačítko, které bude dostupné kdykoliv a stále na stejném dobře viditelném místě. Pro zvýšení bezpečnosti robotického pracoviště musí být využito STOP tlačítko kategorie 1. Zastavení robotického ramene musí být řízeno aby nedošlo k nekontrolovaným pohybům při celkovém odpojení od zdroje. Také musí být zabráněno k uvolnění chpadla a k následnému pádu neseného předmětu.

Návrh vhodného STOP tlačítka:

Schneider Electric XALK178E žlutá skříňka, 1 červené hříbové tlačítko nouzového zastavení O40 uvolnění otočením 1Z+1V.

Tento ovladač obsahuje jak funkci nouzového zastavení tak i funkci nouzového vypnutí. Slouží k namontování přímo na vybranou plochu. K odemknutí slouží odblokovací mechanismus.



Obr. 13 STOP tlačítko Schneider Electric

Vhodná pozice pro umístění STOP tlačítka je vlevo na rámu dveří, ve vrchní části konstrukce, tak aby bylo možné STOP tlačítko využít i při práci v prostoru robotického ramene.

4.3.3 Bezpečnostní modul Mitsubishi

V případě připojení bezpečnostního modulu Mitsubishi, lze pracovat s dalšími funkcemi, které jsou momentálně nedostupné.

Robotické rameno je možné vybavit bezpečnostním modelem od firmy Mitsubishi, které je přímo určeno pro daná robotická ramena. Jedná se o certifikovaný bezpečnostní modul, který se připojuje ke kontroléru. V případě připojení bezpečnostního modulu Mitsubishi, lze pracovat s dalšími funkcemi, které jsou bez něj uživateli nedostupné.

Tento model obsahuje dva zdvojené binární vstupy, které představují dvě bezpečnostní zóny. Po překročení první zóny robot zpomalí a po překročení druhé zóny se zastaví. Po vykročení ze zón se robot dá opět do pohybu. Vystoupíme-li z druhé zóny robot se pomalu rozjede a vystoupíme-li i z první zóny pak se robot zrychlí.

Hlavním rozdílem oproti standardnímu bezpečnostnímu vstupu kontroléru (např. optické závory) je ten, že v kombinaci s bezpečnostním modulem nedojde k výpadku servomotorů při překročení zóny, ale pouze k přidržení robotického ramene.



Obr. 14 Bezpečnostní releové moduly Mitsubishi

Využití Collision avoidance area parameter s bezpečnostním modulem

Funkce sloužící k vytvoření oblasti zamezující kolizi. Okolo robotického ramene je vytvořená oblast, která reaguje s jinými bezpečnostními funkcemi. Dostane-li se tato bezpečnostní oblast do jiné bezpečnostní zóny dojde k zastavení robotického ramene.

Kontrolér robotického ramene si sám spočítá pozici daných bezpečnostních oblastí, které se pohybují současně s robotickým ramenem. Vzhledem k tomu, že má zapsané pozice dalších bezpečnostních zón je schopný vyhodnotit kolizi, dříve, než k ní dojde a včas zastavit robotické rameno.

Příklad:

Free plane limit – tato funkce vytváří bezpečnostní plochy, přes které se robotické rameno nedostane. Reaguje však pouze v případě, že do této zóny najede robot úchopovým zařízením, kde je umístěn řídicí bod. V případě využití bezpečnostního kontroléru, dojde k zastavení robotického ramene při sebemenším kontaktu bezpečnostní oblasti zabezpečující kolizi a bezpečnostní plochy (free plane limit).



Obr. 15 Ochranné okolí robotického ramene

5 Specifikace činností a trajektorií robotického ramene

Následující kapitola obsahuje popis využívaných pohybů robotického ramene a používaných souřadnicových systémů. Jsou zde popsány pouze pohyby a souřadnicové systémy, které jsou přímo využívány pro vytvořené aplikace. Robotické rameno využívá šest souřadnicových systému ve kterých je možné pracovat. Pro vytvořené aplikace nám však stačí dva souřadnicové systémy a to souřadnicový systém Joint a kartézský souřadnicový systém. Je využíváno dvou pohybů a to pohybů po přímce a pohybů z bodu do bodu, kdy si robotické rameno volí svou vlastní trasu. Pohyb, který zde není využíván se nazývá pohyb po kružnici, kdy robotické rameno využívá kruhových pohybů.

Dále je zde specifikována činnost robotického ramene ve vytvářených úlohách. V této kapitole je popsáno celkové fungování obou aplikací. První aplikace slouží jako čistě demonstrační úloha složení a rozložení stavby. Druhá aplikace slouží k přípravě kostek pro libovolnou stavbu. Jedná se tedy o přesun kostek ze zásobníků nad karusel pro uložení kostky a následné odklizení kostek zpět do zásobníku.

5.1 Souřadnicové systémy

Soustava souřadnic umožňuje jednoznačně popsat polohu bodu pomocí čísel jakožto souřadnic. Polohu bodu na přímce určuje jedno reálné číslo, v rovině dvě čísla, v prostoru tři čísla atd.

Obecně je potřeba k určení bodu v n -rozměrném prostoru n čísel, které společně tvoří n -tice. V daných n -ticích záleží na pořadí čísel, tyto čísla jsou určena dle souřadnic.

Soustavu rovnic tvoří:

- a.) Počátek, tzv. nulový bod, kde se protínají všechny osy. Hodnoty všech souřadnic jsou nulové.
- b.) Souřadnicové osy – určují se malými písmeny jejich počet je ovlivněn prostorem.
- c.) Délková jednotka – každý souřadnicový systém může využívat jinou délkovou jednotku, záleží i na přesnosti.

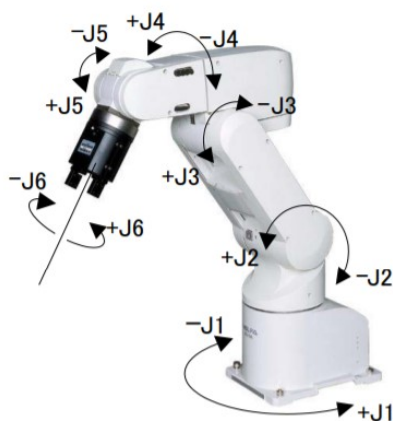
Polohové údaje pro robotické rameno se skládají ze šesti prvků, které ukazují polohu předního konce ramene (střed mechanického rozhraní, kde není provedeno žádné nastavení nástroje) X, Y a Z a pozice robota A, B a C. Každý prvek představuje referenční data pro světový souřadnicový systém robota.

X, Y, Z – souřadnice určující polohu předního konce robotického ramene.

A, B, C – údaje o držení těla. Jedná se o úhel, který definuje polohu robota.

Souřadnicový systém Joint

Slouží k nastavování souřadnic jednotlivých os nezávisle na úhlových jednotkách. Robotické rameno má šest stupňů volnosti, a dle nich se orientuje. Každou osou je možno pohybovat zvlášť. Jednotlivé osy mají daný stupeň volnosti a natočení.

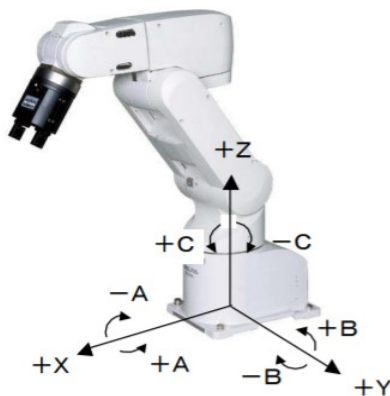


Obr. 16 Pohyb jednotlivých os robotického ramene

Souřadnicový systém XYZ – kartézský systém

Soustavu v prostoru tvoří tři navzájem k sobě kolmé osy. V místě, kde se tyto osy protínají se nachází nulový bod, od kterého je určována vzdálenost jakéhokoliv bodu v prostoru. Nulový bod robotického ramene se nachází v jeho podstavě.

Souřadnice X, Y, Z jsou nastavovány v jednotkách milimetrů. Souřadnice os, A, B a C jsou nastaveny v úhlových jednotkách.



Obr. 17 Zobrazení pohybů v kartézském systému

5.2 Pohybový systém

Robotické rameno je schopno pohybovat se několika různými typy pohybu. Jedná se o kloubní interpolační pohyb, lineární interpolační pohyb a kruhový interpolační pohyb. Je třeba dbát i na rychlost jednotlivých pohybů, aby nedošlo k chybám či nepřesnostem. Rychlosti nastavuje sám uživatel dle svého uvážení. Pro lepší jistotu dokončení pohybu existují funkce, které buď kontrolují, zda byl již pohyb vykonán, anebo funkce, které slouží jako zpoždění (toto zpoždění nastavuje uživatel dle svého uvážení).

5.2.1 PTP – Point to point

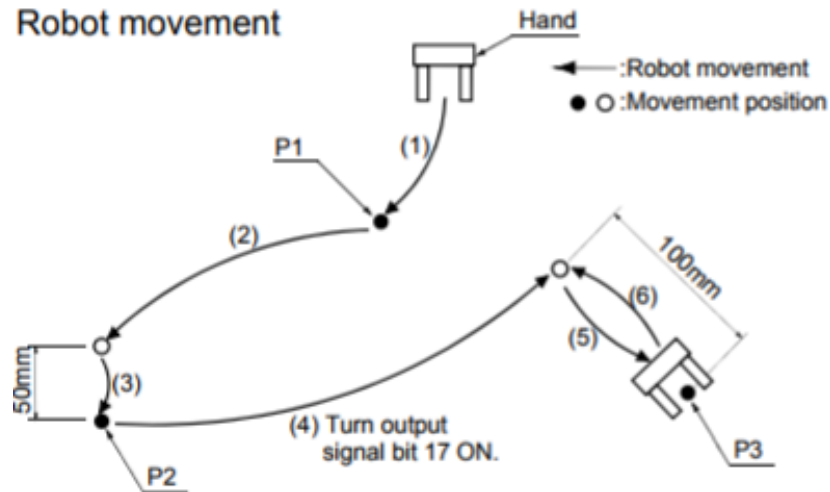
Robot využívá nejrychlejší cesty k cílovému bodu. Nejrychlejší dráha není zpravidla nejkratší dráha ani přímka. Protože se osy robota pohybují rotačně, je možné provádět obloukové dráhy rychleji než přímé dráhy.

Exaktní průběh pohybu není předvídatelný. Robotické rameno, provádí pohyby tak aby nedocházelo k velkému namáhání a aby trajektorie byla co nejkratší a co nejefektivnější. V případě, že robotické rameno nemá dotekové senzory, kameru nebo jiné snímací zařízení může dojít ke kolizi. K té dojde v případě, že ve vypočtené trajektorii bude těleso, o kterém robotické rameno neví. [4]

Příklad programu:

- | | |
|--|--|
| 1. Mov P1 | --Najetí do pozice P1. |
| 2. Mov P2, -50 | --Najede 50 mm od pozice P2. |
| 3. Mov P2 | --Dojetí do pozice P2. |
| 4. Mov P3, -100 with M_out(17) = 1
signální bit 17. | --Zahájí pohyb do pozice 100 mm od P3 a zapne výstupní |
| 5. Mov P3 | --Dojede do pozice P3. |
| 6. Mov P3, -100 | --Najede zpět do pozice 100 mm od P3. |
| 7. End | --Ukončení programu. |

*Program example Robot movement



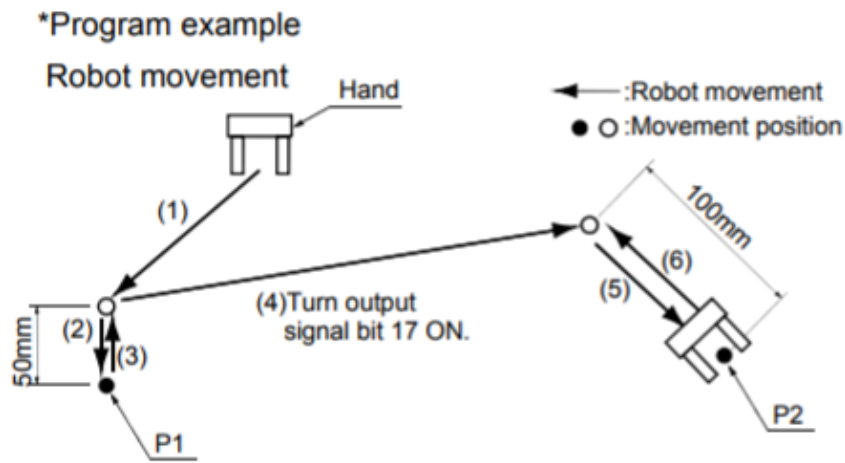
Obr. 18 Příklad kloubového interpolačního pohybu

5.2.2 LIN – Lineární pohyb

Konec nástroje se pohybuje lineárně z počátečního bodu do koncového bodu. Robot se tedy pohybuje definovanou rychlostí podél přímky. Je zde nebezpečí singularity a nedodržení rychlosti během provádění. Výsledná dráha z bodu do bodu je nejkratší možná úsečka. [4]

Příklad programu:

- | | |
|--|--|
| 1. Mvs P1, -50 | --Najetí 50 mm od pozice P1 po přímce. |
| 2. Mvs P1 | --Najetí do pozice P1 po přímce. |
| 3. Mvs, -50 | --Lineární pohyb z aktuální polohy 50 mm ve směru ruky. |
| 4. Mvs P2, -100 with M_Out(17)=1
.signální bit 17 | --Zahájí pohyb do pozice 100 mm od P2 a zapne výstupní |
| 5. Mvs P2 | --Najede do pozice P2 po přímce. |
| 6. Mvs, -100 | --Lineární pohyb z aktuální polohy 100 mm ve směru ruky. |
| 7. End | --Ukončení programu. |



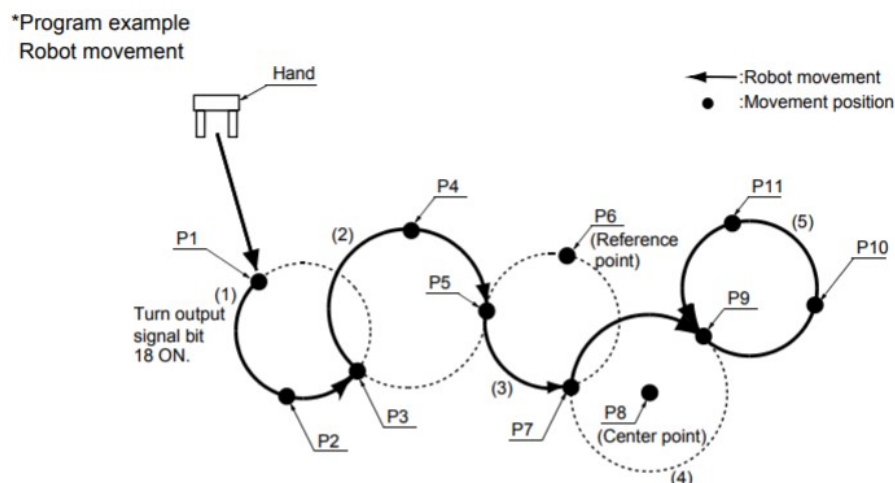
Obr. 19 Příklad lineárního interpolačního pohybu

5.2.3 CIRC – pohyb po kružnici

Robot se pohybuje po kruhové dráze dané třemi body pomocí trojrozměrné kruhové interpolace. Pokud je aktuální poloha od začátku oddělena od počátečního bodu, robot se na dané místo přesune lineárním pohybem a poté začne kruhový interpolační pohyb. [4]

Příklad programu:

1. Mvr P1, P2, P3 With M_Out(18) = 1 --Pohybuje se mezi P1,P2,P3 do oblouku. Je-li aktuální pozice robota jinde než v počátečním bodu, robot si do počátečního bodu najede pohybem po přímce.
2. Mvr P3, P4, P5 --Pohybuje se mezi P3, P4 a P5 do oblouku.
3. Mvr2 P5, P7, P6 --Pohybuje se jako oblouk po obvodu, kde se nachází počáteční bod P5, referenční bod P6 a koncový bod P7 ve směru, ve kterém nepřejde přes referenční bod.
4. Mvr3 P7, P9, P8, --Pohybuje se jako oblouk od počátečního do koncového bodu podél obvodu, na kterém je určen středový bod P8, počáteční bod P7 a koncový bod P8.
5. Mvc P9, P10, P11 --Kruh, pohybuje se mezi bodem P9, P10, P11 a znovu P9.
6. End --Ukončení programu.



Obr. 20 Příklad kruhového interpolačního pohybu

5.3 Specifikace řídicích aplikací

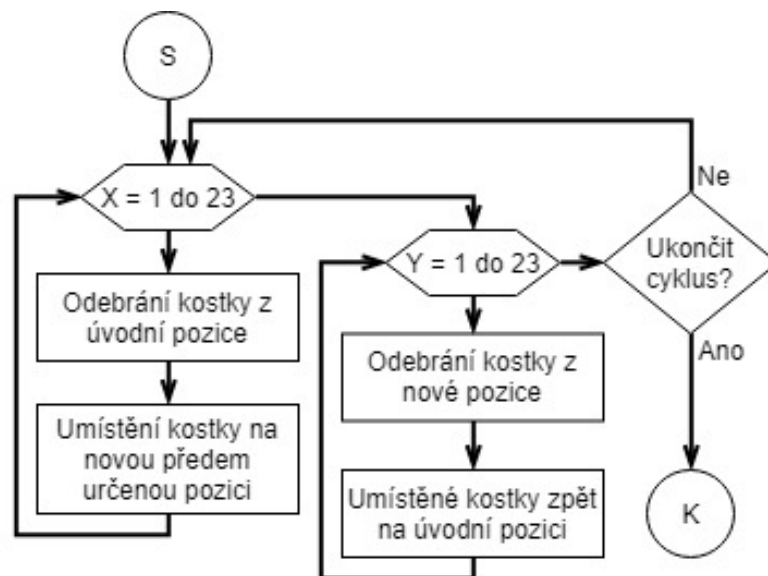
Pro robotické rameno, byly vyvinuty dvě aplikace. První aplikace je zcela samostatná a nepotřebuje žádný nadřazený řídicí systém. Oproti tomu druhá aplikace je součástí mnohem rozsáhlejší aplikace a ke svému fungování potřebuje nadřazený systém. Řešení daných aplikací je uvedeno v následující kapitole.

5.3.1 Kompletní aplikace složení a rozložení stavby

Stavba je vytvořená pomocí kostek Lego Duplo. Všechny kostky jsou rozloženy na karuseli, který je umístěn pod robotickým ramenem. Úkolem této úlohy je vzít kostku po kostce a vytvořit jednoduchou stavbu. Tato stavba je určena pro demonstrativní účely fungování robotického ramene. Všechny pozice kostek jsou pevně zadány a nelze je měnit. Každá změna této stavby musí být provedena programově.

Princip celé aplikace spočívá ve složení stavby z kostek rozmístěných na karuseli, a jejich zpětném rozložení na původní pozice. Aplikace může být spuštěna permanentně, složení a rozložení stavby se bude stále opakovat. Robotické rameno bude odebírat jednu kostku za druhou a postupně je skládat v určenou stavbu. Po dokončení stavby začne robotické rameno stavbu rozkládat kostku za kostkou v opačném pořadí než při skládání stavby.

Pozice každé kostky je dána hodnotami určenými podle os XYZ kartézského souřadnicového systému. Nastavení pozice je možné dvěma způsoby. Ruční nastavení je prováděno za pomoci Touch panelu, kdy je potřeba s robotickým ramenem najet do dané pozici a tuto pozici uložit. Je nutná velká přesnost odhadu pozice. Druhým způsobem je matematický výpočet, v daném systému známe nulový bod, a podle něj je možné vypočítat jednotlivé pozice kostek. Pro lepší výpočet je vhodné vytvořit několik kontrolních bodů přímo na karuseli, za pomoci nichž, budou vytvářeny následné výpočty.



Obr. 21 Blokové schéma pro úlohu: složení a rozložení stavby

Tato úloha obsahuje:

- 6 světle modrých kostek o rozměrech 3,2 cm x 3,2 cm.
- 2 tmavě modré kostky o rozměrech 3,2 cm x 4,8 cm.
- 6 světle zelených kostek o rozměrech 3,2 cm x 3,2 cm.
- 1 tmavě zelenou kostku o rozměrech 3,2 cm x 3,2 cm.
- 2 červené kostky o rozměrech 3,2 cm x 3,2 cm.
- 2 červené kostky o rozměrech 3,2 cm x 4,8 cm.
- 3 žluté kostky o rozměrech 3,2 cm x 3,2 cm.
- 1 oranžovou kostku o rozměrech 3,2 cm x 3x2 cm.

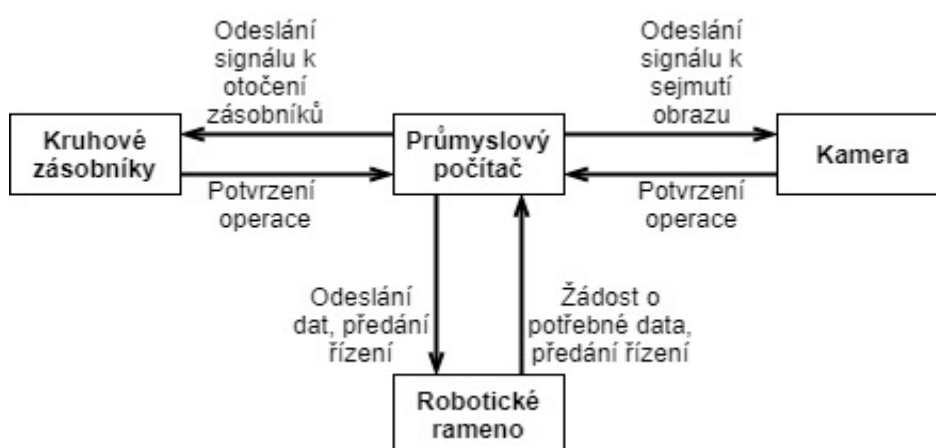
5.3.2 Stavový automat pro ovládání robotického ramene – příprava kostek pro libovolnou stavbu

Principem aplikace je vytvoření libovolné stavby. Uživatel vloží náčrtek stavby vytvořený v autocadu do průmyslového počítače, který následně spustí program pro vytvoření dané stavby. Průmyslový počítač, zde slouží k realizaci vedlejších aplikací a k ovládání ramene při stavbě předdefinované stavby. Robotické rameno slouží k odebrání kostky, následnému přesunu a odložení kostky. V této diplomové práci je řešena část týkající se robotického ramene. Tedy odebrání kostek z pozic a jejich následný přesun. Jedná se o část rozsáhlé aplikace. Řešení dalších částí celé aplikace je ponecháno na dalších studentech.

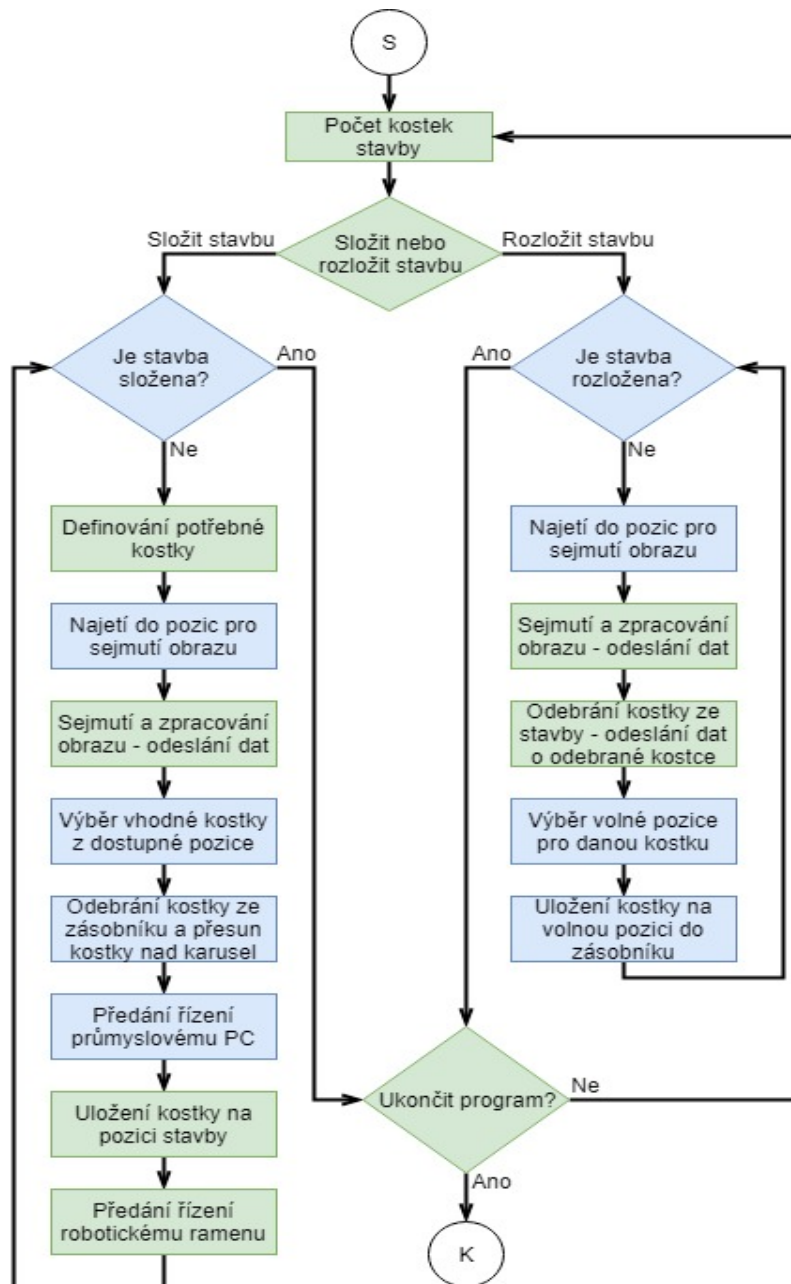
Popis aplikace:

Po vložení návrhu stavby do řídicího počítače, odešle průmyslový počítač informaci o potřebné kostce. Robotické rameno najede do výchozí pozice (v případě, že tam není), a čeká na pořízení snímku karuselu z kamery, poté najede do pozice pro sejmутí obrazu zásobníků a také levého a pravého překladiště. Následně se robotické rameno vrací do výchozí pozice, kde čeká na zpracování informací z obrazu v průmyslovém počítači. Průmyslový počítač zpracuje dané informace a odesílá data o přítomnosti kostek jak na zásobnících, tak i na levém a pravém překladišti do CPU robotického ramene. Robotické rameno ze získaných informací identifikuje pozici, kde se nachází právě potřebná kostka. V případě, že se kostka nenachází na žádné pozici, robotické rameno odesílá signál k otočení zásobníků, případně odesílá zprávu uživateli o doplnění kostek. Poté zahájí pohyb pro odebrání kostky ze zásobníku (případně jednoho z překladišť) a s odebranou kostkou najede nad karusel, kde předá řízení průmyslovému počítači. Průmyslový počítač na základě svého programu ví, kde, již jsou kostky uloženy a jak se jim vyhnout, tak aby nedošlo ke kolizi. Následně kostku uloží a vrací se zpět nad karusel, kde předá řízení zpět robotickému ramenu. Robotické rameno se vrátí zpět do výchozí pozice a čeká na informaci o následně používané kostce. Program se opakuje do doby, než je stavba složena.

Následné rozložení stavby je možno realizovat dvěma způsoby, jednou z možností je rozložení uživatelem, druhou možností je rozložení za pomoci robotického ramene. V případě rozložení stavby robotickým ramenem je nutné opět sejmout obraz zásobníků a obou překladišť, poté robotické rameno najede nad karusel, kde předá řízení průmyslovému počítači. Robotické rameno ovládané průmyslovým počítačem vezme kostku ze stavby a najede do původní pozice nad karuselem, kde předá řízení zpět robotickému rameni. Robotické rameno na základě informací zpracovaných průmyslovým počítačem ví, jakou kostku drží a kde je volná pozice pro její uložení. Následně uloží kostku na volnou pozici a vrací se zpět nad karusel. Program se opakuje až do rozložení stavby. V případě, že na zásobníku není místo pro uložení kostky, odesílá robotické rameno signál o otočení zásobníku. Pokud ani na druhé straně zásobníku není místo robotické rameno odesílá zprávu uživateli o odklizení kostek.



Obr. 22 Blokové schéma zapojení jednotlivých prvků aplikace



Obr. 23 Blokové schéma - modré bloky jsou řízeny robotickým ramenem, zelené bloky jsou řízeny průmyslovým počítačem

Funkce průmyslového počítače:

- Sejmutí obrazu pomocí kamery a zpracování obrazu.
- Otočení zásobníků.
- Řízení robotického ramene k uložení a odebrání kostky ze stavby.
- Přijímání a odesílání zpráv pro uživatele.

Funkce robotického ramene:

- Odebrání kostky ze zásobníků a překladišť.
- Přemístění kostky.
- Odeslání zpráv uživateli, odeslání informace k otočení zásobník.
- Vracení kostek do jednotlivých zásobníků

6 Řídicí aplikace robotického ramene

Tato kapitola podrobně popisuje fungování řídicích aplikací robotického ramene. Jedná se o popis fungování aplikace. Například o popis pozic, přesunů atd. Přesná specifikace řídicích aplikací je uvedena v kapitole 5.3.

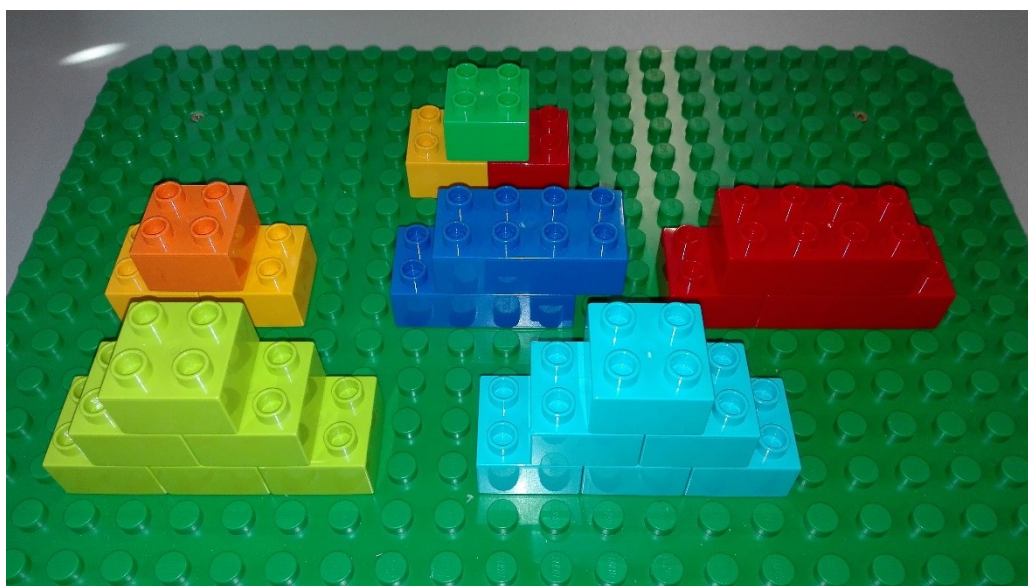
6.1 Řídicí aplikace pro permanentní stavbu

Pro vytvoření stavby, bylo nejprve zapotřebí určit souřadnice pro úvodní pozice, tak i pro pozice vytvořené stavby. V následujících tabulkách jsou veškeré pozice zaznamenány.

Úvodní pozice kostek:

Tab. 12 Souřadnice úvodních pozic kostek

Kostka	Souřadnice X	Souřadnice Y	Souřadnice Z
Světle modrá 1	-268,340	32,460	736,730
Světle modrá 2	-269,000	18,000	757,000
Světle modrá 3	-269,000	50,000	757,000
Světle modrá 4	-268,650	2,000	775,000
Světle modrá 5	-268,650	34,000	775,000
Světle modrá 6	-268,650	66,000	775,000
Tmavě modrá 1	-205,000	2,000	757,000
Tmavě modrá 2	-205,000	-15,000	775,000
Světle zelená 1	-267,000	-95,000	737,000
Světle zelená 2	-268,300	-112,000	756,000
Světle zelená 3	268,300	-80,000	756,000
Světle zelená 4	268,300	-128,000	775,000
Světle zelená 5	268,300	-96,000	775,000
Světle zelená 6	268,300	-64,000	775,000
Tmavě zelená	-140,000	-15,000	757,000
Červená V1	-204,000	95,000	757,000
Červená V2	-203,000	113,000	776,000
Červená M1	-204,000	65,000	777,000
Červená M2	-140,000	0	777,000
Žlutá 1	-205,000	-112,000	757,000
Žlutá 2	-205,000	-96,000	775,000
Žlutá Vrchol	-140,000	-32,000	777,000
Oranžová	-204,000	-128,000	775,000



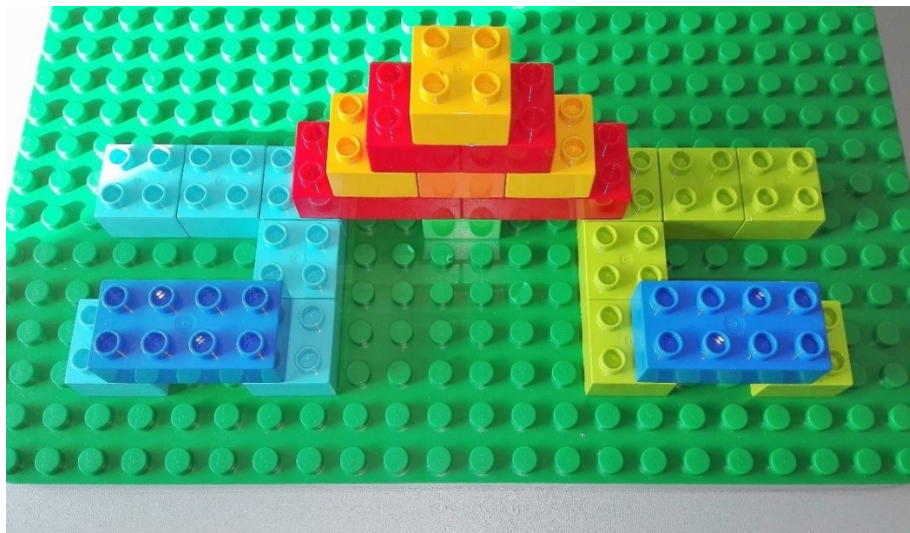
Obr. 24 Rozložení kostek na karuselu

Pozice kostek složené stavby:

Tab. 13 Souřadnice kostek složených ve stavbě

Kostka	Souřadnice X	Souřadnice Y	Souřadnice Z
Světle modrá 1	-397,000	-127,660	776,000
Světle modrá 2	-395,500	-63,630	776,000
Světle modrá 3	-366,000	-63,670	776,000
Světle modrá 4	-332,000	-63,660	776,000
Světle modrá 5	-333,490	-95,660	776,000
Světle modrá 6	-333,490	-127,660	776,000
Tmavě modrá 1	-397,000	-95,000	757,47
Tmavě modrá 2	-397,000	97,000	757,47
Světle zelená 1	-395,500	129,000	776,000
Světle zelená 2	-395,500	65,000	776,000
Světle zelená 3	-363,500	65,000	776,000
Světle zelená 4	-331,500	65,000	776,000
Světle zelená 5	-331,500	96,980	776,000
Světle zelená 6	-331,500	128,980	776,000
Tmavě zelená	-331,500	1,000	777,000
Červená V1	-331,500	-31,000	757,000
Červená V2	-331,500	33,500	757,000
Červená M1	-334,000	16,000	719,100
Červená M2	-334,000	-16,000	719,100
Žlutá 1	-331,000	0,500	737,680

Žlutá 2	-334,000	32,500	737,680
Žlutá Vrchol	-333,360	0	702,730
Oranžová	-334,000	-32,500	737,000



Obr. 25 Stavba složená robotickým ramenem

6.1.1 Program pro posun kostek

Před začátkem pohybů je nejprve nutné zapnout servopohony a najet do úvodní pozice, aby nedošlo k nepovolenému pohybu z neurčitého místa. V případě špatného umístění robotického ramene by mohlo dojít k nárazu a k následným škodám, či k zranění.

Servo On	" Zapnutí servopohonu.
Wait M_Svo = 1	" Počká, než se servopohon spustí.
Ovrd 20	" Celková rychlost robotického ramene.
Cnt 1	" Slouží k vyhlazení dráhy robota a k plynulému pohybu.
Mov pHome	" Najetí do Home position (výchozí pozice).
Dly 0.5	" Časové zpoždění 0,5 s.

Po provedení těchto úkonů je možné pokračovat v programu. V následujícím textu je uvedena pouze část kódu.

Mov pNadKostky	" Najetí do univerzálního bodu nad karuselem.
Dly 0.5	" Časové zpoždění 0,5 s.
Mov pModra1, -30	" Najetí 3 cm nad původní pozici modré kostky.
Mvs pModra1	" Najetí přímo nad kostku, pohyb je konaný směrem dolů po přímce.
Dly 0.5	" Časové zpoždění 0,5 s.
HClose 1	" Uzavření chapadla a sevření kostky.

Dly 0.5	" Časové zpoždění 0,5 s.
Mvs pModra1, -30	" Najetí 3 cm nad původní pozici modré kostky (po přímce).
Mov pPoziceM1, -30	" Najetí 3 cm nad novou pozici modré kostky.
Mvs pPoziceM1	" Uložení kostky na novou pozici (po přímce – posune se o 3cm dolů).
Dly 0.5	" Časové zpoždění 0,5 s.
HOpen 1	" Otevření chapadla a uvolnění kostky.
Dly 0.5	" Časové zpoždění 0,5 s.
Mvs pPoziceM1, -30	" Najetí 3 nad novou pozici kostky po přímce.
Mov pNadKostky	" Návrat do univerzálního bodu nad karuselem.

Stejným způsobem je proveden posun všech dalších kostek. Robot vždy najede 3 cm nad kostku a teprve poté sjede dolů na danou pozici. Tímto pohybem lze předejít nárazu chapadla do kostky v případě, že by robotické rameno bylo níž nebo na stejné úrovni. Pohyb z nižší nebo stejné pozice nelze vykonat, chapadlo se kostce nevyhne a došlo by k nárazu.

Po uzavření chapadla a uchycení kostky, rameno opět vyjede o 3 cm výše, aby nedošlo k poškození kostky nebo chapadla. Pomocí dalšího pohybu robotické rameno najede 3 cm nad novou pozici a poté sjede dolů, kde umístí kostku na karusel s následným otevřením chapadla. Po umístění vyjede rameno výše a následně do původní pozice odkud vyráží pro další kostku.

Robotické rameno pracuje do doby, než umístí poslední kostku. Časová zpoždění slouží k pozdržení programu tam kde reakce není okamžitá a je třeba pozdržet další pohyb pro správné a bezpečné fungování programu.

Jakmile robotické rameno složí danou stavbu začne ji zase rozebírat a kostky vracet na původní pozice odkud byly vzaty.

Mov pPoziceM1, -30	" Najetí 3 cm nad novou pozici kostky.
Mvs pPoziceM1	" Najetí přímo nad kostku, pohyb je konaný směrem dolů po přímce.
Dly 0.5	" Časové zpoždění 0,5 s.
HClose 1	" Uzavření chapadla a sevření kostky.
Dly 0.5	" Časové zpoždění 0,5 s.
Mvs pPoziceM1, -30	" Najetí zpět nad kostku, pohyb je konaný směrem nahoru po přímce.
Mov pModra1, -30	" Najetí 3 cm nad původní pozici modré kostky.
Mvs pModra1	" Umístění kostky do původní pozice, pohyb směrem dolů po přímce.
Dly 0.5	" Časové zpoždění 0,5 s.
HOpen 1	" Otevření chapadla a uvolnění kostky.
Dly 0.5	" Časové zpoždění 0,5 s.
Mvs pModra1, -30	" Najetí 3 cm nad původní pozici modré kostky (směrem nahoru po přímce).

Po vrácení všech kostek na původní místo je třeba správně ukončit program.

Mov pNadKostky	" Najetí do univerzálního bodu nad karuselem.
Dly 0.5	" Časové zpoždění 0,5 s.
Mov pHome	" Najetí do Home position (výchozí pozice).
Servo Off	" Vypnutí servopohonu.
End	" Ukončení programu.

Po ukončení programu jsou kostky na úvodních pozicích stejně jako před začátkem programu. Program je možné neustále opakovat, robotické rameno pak neustále skládá a rozkládá stavbu.

6.2 Stavový automat pro ovládání robotického ramene – příprava kostek pro libovolnou stavbu

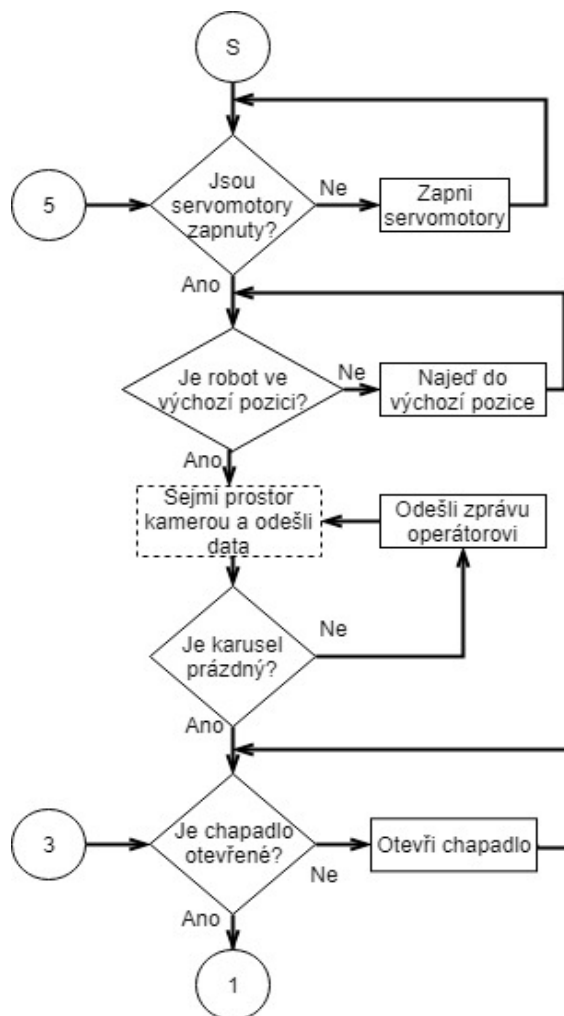
Tato aplikace slouží k vytvoření libovolné stavby. Přesný popis fungování aplikace je popsán v kapitole 5.3. Pro danou aplikaci byl nejprve vytvořen vývojový diagram, který slouží k lepší orientaci v celé aplikaci. Následně byly postupně naprogramované jednotlivé kroky, které provádí robotické rameno, druhá část aplikace je řízena pomocí průmyslového počítače.

6.2.1 Stavový automat

Stavový diagram byl vytvořen pro snadný vývoj systému. Základem je kontrola stavu celé aplikace. Stav aplikace bude kontrolován samotným robotickým ramenem a také kamerou. Celý program má konečný počet stavů, které jsou dále popsány. Vzhledem k velikosti stavového automatu je stavový diagram rozdělen na několik částí.

Diagram A

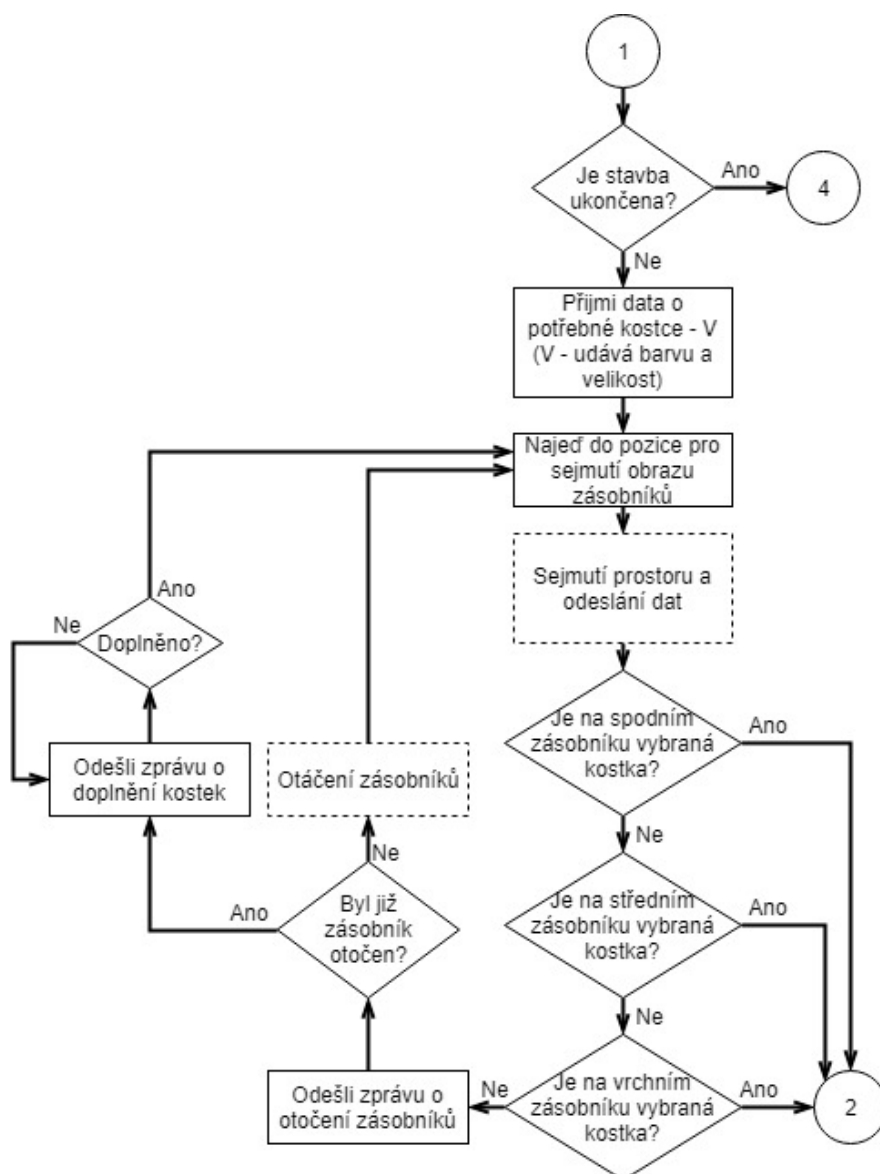
První část slouží k základním úkonům, které je nutné provést před začátkem stavby. Nejdůležitějším úkonem je zapnutí servomotorů, pokud nebudou zapnuty, program nemůže pokračovat a dojde k tzv. zacyklení. Druhým krokem je najetí robotického ramene do domácí tzv. home pozice. Stavový automat pokračuje sejmutím prostoru kamerou – slouží k získání informace o karuselu. V případě, že je karusel prázdný program pokračuje dále. Pokud ovšem na karuselu zůstali kostky z předchozí stavby je nutné dát znamení operátorovi, který musí zajistit jejich odstranění. Dokud operátor nepotvrdí odstranění kostek, program dále nepokračuje.



Obr. 26 Diagram A – Start programu s kontrolou před začátkem stavby

Diagram B

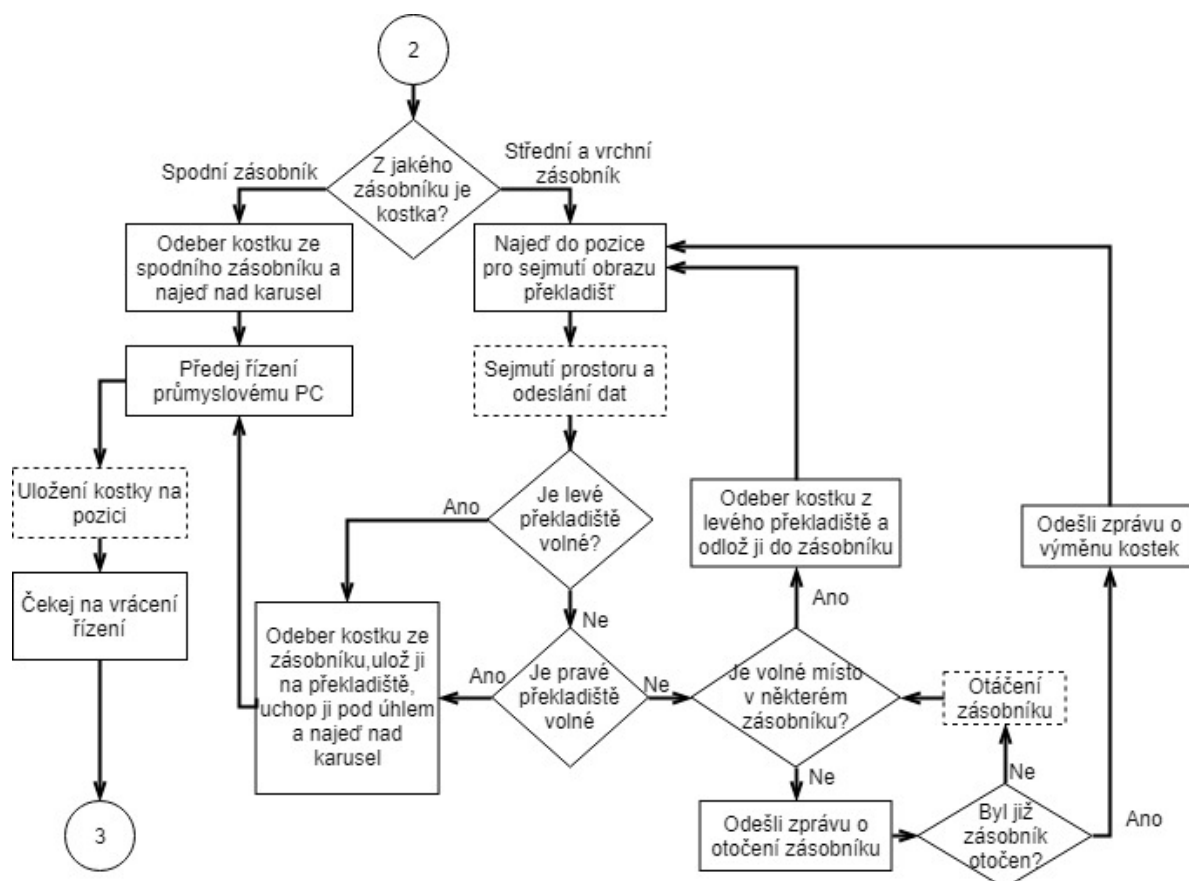
Druhá část stavového automatu slouží k volbě velikosti kostky. Před další volbou je vždy nutné zkontrolovat stav stavby. V případě že stavba již je dokončena program pokračuje čtvrtou částí programu – rozložení stavby. Jestliže stavba není dokončena, je nutné zvolit potřebnou kostku. Postup po zvolení kostky, je pro všechny typy kostky totožný. Kamera sejme obraz a podle získaných dat, je možné určit, zda se na zásobníku kostka nachází. V případě že ano, program vezme kostku a pokračuje dále. Jestliže se kostka na zásobníku nenachází, je třeba otočit zásobníky. Pokud ani poté není v zásobníku potřebná kostka je nutné dát znamení operátorovi, aby doplnil kostky. Doplnění kostek je vždy potvrzeno signálem a otočením zásobníků, pro dostupnost kostek.



Obr. 27 Diagram B – Výběr kostky

Diagram C

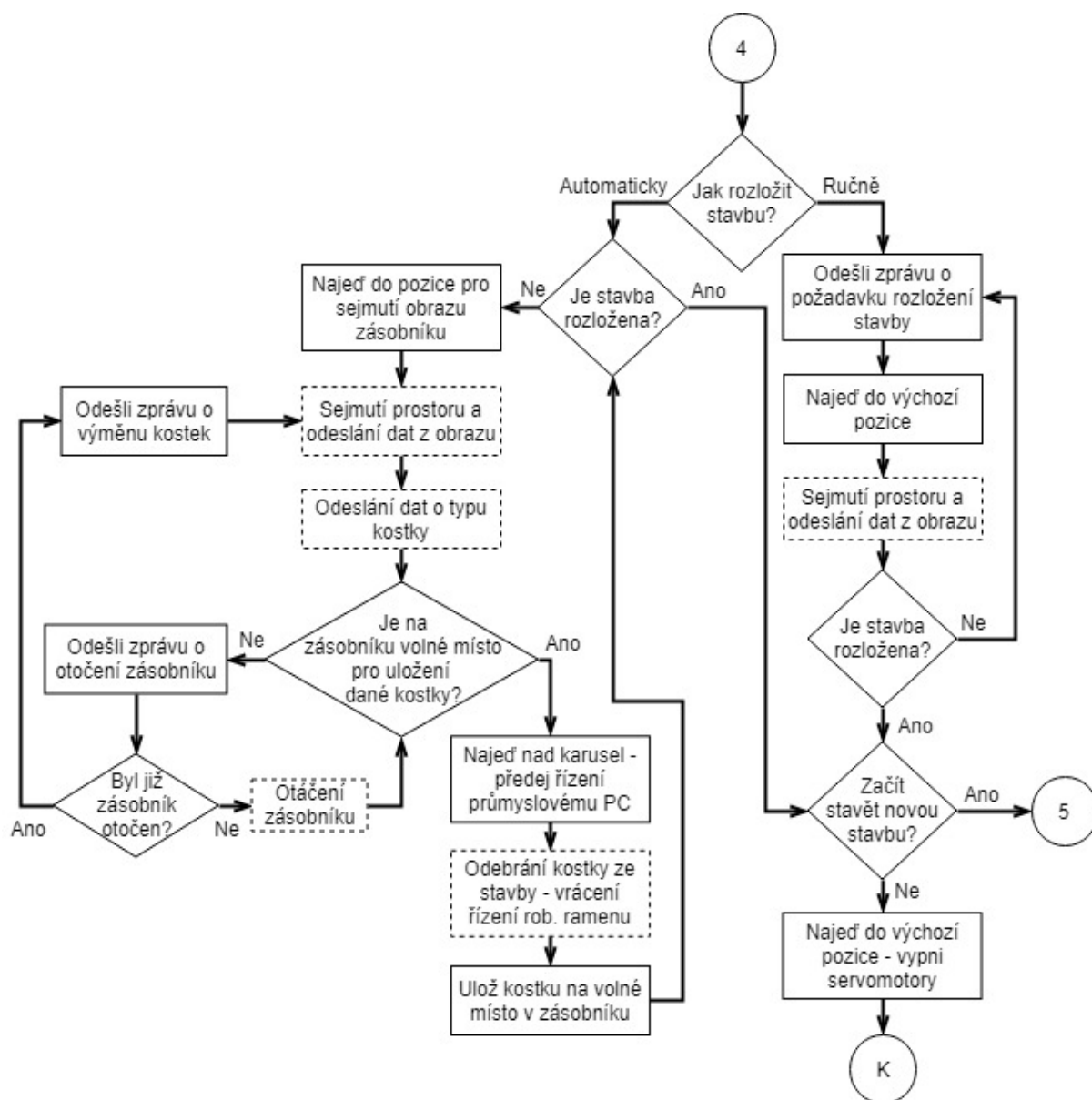
Třetí částí je možnost uložení kostky po sejmutí ze zásobníku. Kostku ze spodního zásobníku je možné vzít a přímo umístit na požadovanou pozici na karuseli. Vzhledem k technickým vlastnostem robotického ramene a konstrukce je nutné u středního a vrchního zásobníku kostku před uložením nejprve přechytit. K tomu slouží levé nebo pravé překladiště. Obě překladiště musí nejprve zkontrolovat kamera a doplnit informace o volné pozici. Jestliže je vhodná pozice prázdná, robotické rameno zde kostku položí, a vezme ji znovu pod úhlem vhodným k uložení kostky na definovanou pozici.



Obr. 28 Diagram C – Uložení kostky

Diagram D

Poslední část diagramu slouží k rozložení stavby. Rozebrat stavbu je možné dvěma způsoby. Lze ji rozebrat automaticky za pomoci robotického ramene anebo ručně zásahem uživatele. V případě první možnosti je vždy nutné najet do pozic pro sejmutí obrazu a vytvořit snímky zásobníku a překladišť. Následně robotické rameno najede nad karusel a předá řízení průmyslovému počítači. Průmyslový počítač za pomoci robotického ramene odebere kostku a předá řízení zpět robotickému rameni společně s potřebnými informacemi o kostce a volném místě v zásobnících. Zásobník kostek kontroluje kamera, která odesílá data o zaplnění, a v případě plného obsazení zásobníků, odesílá žádost o otočení zásobníku. Pokud ani po otočení zásobníku není volné místo pro uložení kostky je nutné dát znamení operátorovy. Program následně čeká na potvrzení o odstranění kostek. Po rozložení stavby, je možné začít stavět stavbu novou, nebo program ukončit.



Obr. 29 Diagram D – Rozložení stavby

6.2.2 Realizace programu pro přesun kostky zpět do zásobníku

Program byl vytvořen tak, aby nebylo možné dostat se do situace, kterou by robotické rameno nebylo schopné vyřešit. V prvním případě, jsou přijaty informace z průmyslového počítače, které jsou nutné pro další postup programu. Celý postup je ošetřen tak, aby nedošlo k zacyklení, nebo k chybě programu. Pomocí informací z kamery, lze přesně určit pozici na které se nachází požadovaná kostka. Dle dané pozice je poté kostka odebírána.

Počáteční kontrola

Při spuštění aplikace, je nutné ověřit, že je robotické rameno v provozu a lze s ním dále pracovat. Prvním krokem je spuštění servomotorů robotického ramene a najetí do výchozí pozice. Po spuštění servomotorů je nutné zkontrolovat, zda jsou skutečně zapnuty. V případě, že nedošlo k zapnutí, program nebude dále pokračovat, a dostane se do chybového stavu. Při správném spuštění servomotů najede robotické rameno do výchozí pozice, kde čeká na další pokyny.

Sejmutí prostoru robotickým ramenem

Pro aplikaci je zapotřebí sejmut kamerou prostory, kde se vyskytují kostky. Jedná se o karusel, šest zásobníků kostek a dvě boční překladiště kostek. Karusel se vyskytuje pod robotickým ramenem a slouží k vytvoření stavby. Zásobník kostek je konstruován jako otočný, kdy na každé straně jsou tři zásobníky. Robotické rameno má aktuálně k dispozici tři zásobníky kostek, po jejich vyprázdnění je nutné zásobníky otočit o 180°. Zásobníky obsahují 9 pozic pro uložení kostky, na každém zásobníku jsou tři pozice, každá tato pozice slouží pro uložení jiné kostky. Jedná se o kostky ze stavebnice Lego Duplo. První kostka je o velikosti 32 x 32 mm, značená jako kostka 2x2. Druhá kostka je o velikosti 32 x 40 mm, značená jako kostka 2x3. Třetí kostka je o velikosti 32 x 48 mm, značená jako kostka 2x4. Pro stavbu je možné použít libovolný počet kostek s předpokladem, že operátor chybějící kostky doplní do zásobníků. Kostky pro seskládání stavby budou využívány ve třech barvách. A to v červené, zelené a modré barvě. Překladiště slouží k přechycení kostek robotickým ramenem, stejně jako jednotlivé zásobníky obsahuje pozice pro tři různé kostky.

Před spuštěním aplikace je nutné zjistit jaké kostky jsou k dispozici a na které pozici se nacházejí. Zjištění pozic zajišťuje kamera připevněná přímo na robotickém rameni. Pro správné sejmutí prostoru je nutné najet do čtyř pozic, ze kterých lze sejmut potřebný prostor. První pozice umožňuje sejmutí karuselu, druhá pozice umožňuje sejmutí zásobníků a poslední dvě pozice slouží pro sejmutí obrazu levého a pravého překladiště. V průmyslovém počítači kamera zpracuje získaný obraz, a pošle robotickému ramenu hodnoty odpovídající barvě a pozici kostky.

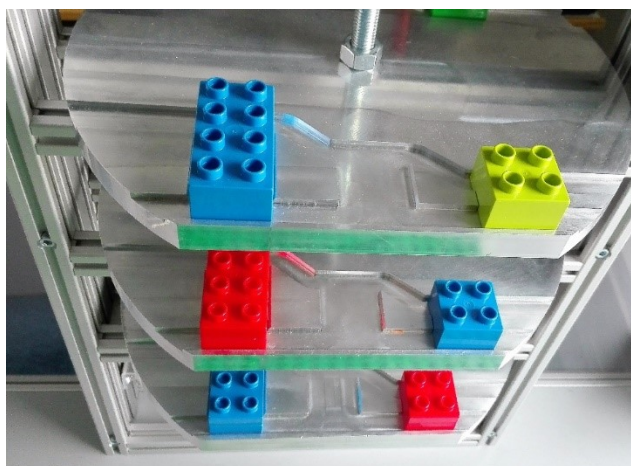
Tab. 14 Pozice pro snímání prostoru kamerou

Snímaná pozice	X	Y	Z	A	B	C
Karusel	-29,76	-0,01	450	94,24	-90	-85,76
Zásobníky kostek	-188,92	0	542,87	129,76	-90	130,49
Levé překladiště	-234,65	29,31	514,16	-94,4	-86,68	-175,73
Pravé překladiště	-175,33	7,490	542,87	-129,76	-90	-130,49

Robotické rameno jako první sejme prostor karuselu, odkud získá informaci, zda je karusel prázdný nebo plný. V případě, že je na karuselu předchozí stavba, je třeba odeslat zprávu operátorovi, aby stavbu rozložil a kostky odklidil.

V dalším kroku najede robotické před zásobníky, a sejme obraz všech tří zásobníků. Odtud získá informace o barvě a pozici kostek. Jedná se o devět kostek, označených jako:

- VZ2, VZ3, VZ4 – pro kostku 2x2, 2x3, 2x4 na vrchním zásobníku.
- PZ2, PZ3, PZ4 – pro kostku 2x2, 2x3, 2x4 na prostředním zásobníku.
- SZ2, SZ3, SZ4 – pro kostku 2x2, 2x3, 2x4 na spodním zásobníku.



Obr. 30 Otočný zásobník s kostkami

Barva kostky je určena proměnou obsahující určitou hodnotu. V případě, že na některé pozici nebude kostka, bude mít proměnná hodnotu 0. Pokud bude kostka červené barvy, její hodnota bude rovna 1, pro zelenou kostku je proměnná rovna 2 a pro modrou kostku bude proměnná rovna 3.

Například (odpovídá Obr. 30):

VZ3 = 0 ... Kostka 2x3 na vrchním zásobníku chybí.

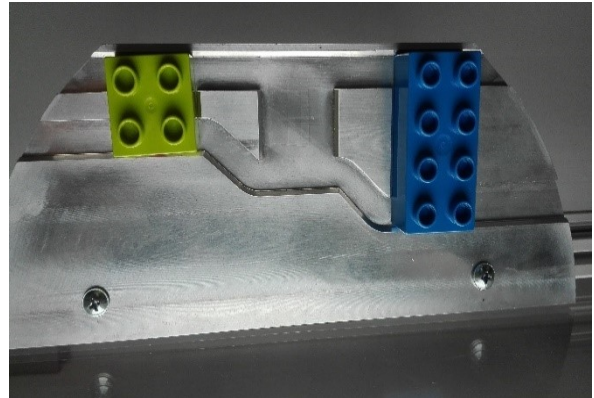
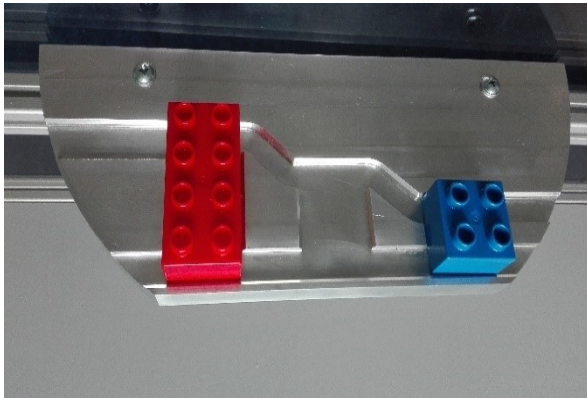
VZ2 = 2 ... Kostka 2x2 na vrchním zásobníku je zelená.

PZ4 = 1 ... Kostka 2x4 na prostředním zásobníku je červená.

SZ4 = 3 ... Kostka 2x4 na spodním zásobníku je modrá.

V předposledním kroku najede robotické rameno nad levé překladiště, vytvoří obraz daného prostoru a získá tak informace o kostkách nacházejících se na levém překladišti. Na levém překladišti se může nacházet kostka 2x2, 2x3 nebo 2x4 různé barvy. Informace o přítomnosti kostky a její barvy jsou přijímány jako hodnota proměnné. Proměnné jsou značeny: LP2, LP3, LP4.

Posledním krokem je najetí robotického ramene nad pravé překladiště, vytvoření obrazu daného prostoru a získání informace o přítomných kostkách. Informace jsou získávány ve formě proměnných, které jsou značeny jako: PP2, PP3, PP4.



Obr. 31 Vlevo - levé překladiště, Vpravo - pravé překladiště

Zvolení potřebné kostky

Průmyslový počítač obsahující parametry stavby, určí, jakou kostku bude potřeba použít v následujícím kroku. Volba kostky je dána proměnou značenou jako V – výběr. Proměnná V může nabývat hodnot od 1 do 9. Proměnou V odesílá průmyslový počítač do CPU robotického ramene. Každá hodnota proměnné určuje blok příkazů (case), které budou prováděny po zvolení dané proměnné V.

Každá hodnota znamená použití jiné kostky (jiného case):

- 1 ... použití velké červené kostky o rozměrech 32 x 48 mm.
- 2 ... použití střední červené kostky o rozměrech 32 x 40 mm.
- 3 ... použití malé červené kostky o rozměrech 32 x 32 mm.
- 4 ... použití velké zelené kostky o rozměrech 32 x 48 mm.
- 5 ... použití střední zelené kostky o rozměrech 32 x 40 mm.
- 6 ... použití malé zelené kostky o rozměrech 32 x 32 mm.
- 7 ... použití velké modré kostky o rozměrech 32 x 48 mm.
- 8 ... použití střední modré kostky o rozměrech 32 x 40 mm.
- 9 ... použití malé modré kostky o rozměrech 32 x 32 mm.

Vyhledání a přesun vybrané kostky

Po zvolení vybrané kostky je třeba upřesnit na které pozici se vybraná kostka nachází. Toho dosáhneme jednotlivými podmínkami v každém příkazovém bloku case. Pro všechny bloky příkazů case, platí

stejné podmínky, lišící se pouze jejich hodnotou. Pro splněnou podmínku následuje podprogram, který slouží k přesunu kostky.

Jednotlivé podmínky jsou popsány následovně:

Podmínka č. 1 – nachází-li se kostka na levém překladišti, program pokračuje podprogramem *LeveP****.

Podmínka č. 2 – nachází-li se kostka na pravém překladišti, program pokračuje podprogramem *PraveP****.

Podmínka č. 3 – nachází-li se kostka na spodním zásobníku, program pokračuje podprogramem *SpodniT****.

Podmínka č. 4 – nachází-li se kostka na prostředním zásobníku a zároveň je volné levé překladiště, program pokračuje podprogramem *ProstredniT***L*.

Podmínka č. 5 – nachází-li se kostka na prostředním zásobníku a zároveň je volné pravé překladiště, program pokračuje podprogramem *ProstredniT***P*.

Podmínka č. 6 – nachází-li se kostka na vrchním zásobníku a zároveň je volné levé překladiště, program pokračuje podprogramem *VrchniT***L*.

Podmínka č. 7 – nachází-li se kostka na vrchním zásobníku a zároveň je volné levé překladiště, program pokračuje podprogramem *VrchniT***P*.

Podmínka č. 8 – nachází-li se kostka na prostředním zásobníku a je-li levé i pravé překladiště plné, ale zároveň je volné vrchní překladiště program pokračuje podprogramem *PrekladP***VT*.

Podmínka č. 9 – nachází-li se kostka na prostředním zásobníku a je-li levé i pravé překladiště plné, ale zároveň je volné spodní překladiště program pokračuje podprogramem *PrekladV***ST*.

Podmínka č. 10 – nachází-li se kostka na vrchním zásobníku a je-li levé i pravé překladiště plné, ale zároveň je volné prostřední překladiště program pokračuje podprogramem *PrekladV***PT*.

Podmínka č. 11 – nachází-li se kostka na vrchním zásobníku a je-li levé i pravé překladiště plné, ale zároveň je volný střední zásobník, program pokračuje podprogramem *PrekladV***ST*.

Podmínka č. 12 – Není-li kostka na levém či pravém překladišti ani na jednom ze zásobníků, program odešle zprávu uživateli na průmyslový počítač o doplnění kostek.

Podprogramy pro přesun kostek

Přesun kostky je realizován chapadlem robotického ramene. Chapadlo nejdříve najede před vybranou kostku, následně ji uchopí a přejede na předem definovanou pozici. Poté čeká na předání řízení průmyslovému počítači. Každý podprogram slouží pro přesun jiného druhu kostky. Doba přesunu kostky je závislá na rychlosti robotického ramene.

Podprogramy jsou popsány následovně:

- *LeveP**** - Slouží ke vzetí kostky z levého překladiště a najetí nad karusel.
- *PraveP**** - Slouží ke vzetí kostky z pravého překladiště a najetí nad karusel.
- *SpodniT**** - Slouží ke vzetí kostky ze spodního překladiště a najetí nad karusel, ze spodního překladiště lze vzít kostku přímo.
- *Prostredni***L* – Chapadlo odebere kostku z prostředního překladiště, odloží kostku na levé překladiště, srovná rameno, opět kostku uchopí a najede s ní nad karusel. Uchopení kostky na prostředním zásobníku tak, aby bylo možné ji okamžitě uložit na karusel není technicky možné. Proto je nutné kostku nejprve odložit na překladiště, srovnat robotické rameno a poté kostku uchopit pod správným úhlem.
- *Prostredni***P* – Chapadlo odebere kostku z prostředního překladiště a v případě, že je levé překladiště plné, odloží kostku na pravé překladiště, uchopí ji znovu pod správným úhlem a najede nad karusel.
- *VrchniT***L* – Chapadlo odebere kostku z vrchního překladiště, poté ji odloží na levé překladiště, znovu ji uchopí pod vhodným úhlem k uložení a najede nad karusel.
- *VrchniT***P* – Chapadlo odebere kostku z vrchního zásobníku a v případě, že levé překladiště je plné, odloží ji na pravé překladiště. Kostku poté uchopí pod vhodným úhlem k následné manipulaci a najede nad karusel.
- *PrekladP***VT* – V případě, že je potřebná kostka na prostředním zásobníku, a obě překladiště jsou plná, ale zároveň je místo na vrchním zásobníku, pak robotické rameno nejprve uchopí kostku z levého překladiště, přemístí ji na volné místo vrchního zásobníku a následně pokračuje podprogramem *ProstredniT***L*.
- *PrekladP***ST* – V případě, že je potřebná kostka na prostředním zásobníku, a obě překladiště jsou plná, ale zároveň je místo na spodním zásobníku, pak robotické rameno nejprve uchopí kostku z levého překladiště, přemístí ji na volné místo spodního zásobníku a následně pokračuje podprogramem *ProstredniT***L*.
- *PrekladV***PT* – V případě, že je potřebná kostka na vrchním zásobníku, a obě překladiště jsou plná, ale zároveň je místo na prostředním zásobníku, pak robotické rameno nejprve uchopí kostku z levého překladiště, přemístí ji na volné místo prostředního zásobníku a následně pokračuje podprogramem *VrchniT***L*.
- *PrekladV***ST* – V případě, že je potřebná kostka na vrchním zásobníku, a obě překladiště jsou plná, ale zároveň je místo na spodním zásobníku, pak robotické rameno nejprve uchopí kostku z levého překladiště, přemístí ji na volné místo spodního zásobníku a následně pokračuje podprogramem *VrchniT***L*.

6.2.3 Realizace programu pro vrácení kostky do zásobníku

Program slouží k rozložení již postavené stavby. Na základě informací, dodaných z průmyslového počítače bude kostka po kostce uložena zpět do zásobníků. Robotické rameno si převezme řízení nad karuselem, a přečte informaci od průmyslového počítače. První informace, kterou musí robotické rameno získat je informace o velikosti kostky. Následně musí robotické rameno postupně najet do předem daných pozicí, kde kamera sejme prostor překladišť a zásobníků. Získané informace vyhodnotí, a získá informaci o volné pozici, kde bude možné uložit kostku.

Vyhledání volné pozice a uložení kostky

Po získání informací z kamery, je třeba definovat volnou pozici za pomoci case. Každé case slouží pro jinou kostku, case jsou rozděleny dle velikosti kostky, neboť v tomto případě na barvě nezáleží. Podmínky v jednotlivých case jsou v podstatě totožné, rozdílný je pouze konečný program na základě velikosti kostky.

Jednotlivé podmínky jsou popsány následovně:

Podmínka č. 1 – v případě, že je volná pozice na spodním zásobníku, program pokračuje podprogramem *OdklidST****.

Podmínka č. 2 – pokud je volná pozice na prostředním zásobníku a je volné místo i na levém překladišti program pokračuje podprogramem *OdklidPT***LP*.

Podmínka č. 3 – pokud je volná pozice na prostředním zásobníku a je volné místo i na pravém překladišti program pokračuje podprogramem *OdklidPT***PP*.

Podmínka č. 4 – pokud je volná pozice na vrchním zásobníku a je volné místo i na levém překladišti program pokračuje podprogramem *OdklidVT***LP*.

Podmínka č. 5 – pokud je volná pozice na vrchním zásobníku a je volné místo i na pravém překladišti program pokračuje podprogramem *OdklidVT***PP*.

Podmínka č. 6 – není-li volné místo na žádném zásobníku, odešle robotické rameno zprávu o otočení zásobníku

Následně se opakují podmínky 1, 2, 3, 4, 5, v případě, že ani pak není volné místo na žádné pozici robotické rameno odešle zprávu uživateli – žádost o uklizení kostek.

Podprogramy pro přesun kostek

Pohyb je realizován za pomoci robotického ramene. Jednotlivé pohyby slouží k navrácení kostek do jednotlivých zásobníků dle velikostí kostek.

Podprogramy jsou popsány následovně:

- *OdklidST**** - slouží k umístění kostky na spodní zásobník.
- *OdklidPT***LP* – robotické rameno přemístí kostku na levé překladiště, zde ji přechytí pod 90° úhlem a následně ji umístí na prostřední zásobník.
- *OdklidPT***PP*– robotické rameno přemístí kostku na pravé překladiště, zde ji přechytí pod 90° úhlem a následně ji umístí na prostřední zásobník.
- *OdklidVT***LP* – robotické rameno přemístí kostku na levé překladiště, zde ji přechytí pod 90° úhlem a následně ji umístí na vrchní zásobník.
- *OdklidVT***PP*– robotické rameno přemístí kostku na pravé překladiště, zde ji přechytí pod 90° úhlem a následně ji umístí na vrchní zásobník.

7 Testování aplikací

Obě vytvořené aplikace byly otestovány. První aplikace tedy aplikace složení a rozložení stavby byla otestována v kompletním provozu. Druhá aplikace, která slouží jako podaplikace řídicího systému pro složení libovolné stavby, byla otestována pouze částečně. Vzhledem k pouze částečné realizaci aplikace pro průmyslový počítač, nelze program otestovat v provozu. Otestovat lze pouze jeho funkčnost a to mimo řídicí aplikaci průmyslového počítače.

7.1 Testování aplikace složení a rozložení stavby

Aplikace složení a rozložení stavby byla otestována jak v krátkodobém tak i v dlouhodobém provozu. Krátkodobě byla aplikace testována pro různé rychlosti. Dlouhodobé testování bylo provedeno pouze pro jednu konstantní rychlost. Mezi méně časté chyby lze počítat uchopení dvou kostek současně. K tomu dochází v případě, že jsou dvě kostky položené na sobě, a jsou vzájemně drženy velkou třecí silou. Častější chybou je nedosednutí kostky na určené místo. Tato situace nastává v případě, že kostka v chápadle prokluzuje a robotické rameno ji není schopno přitlačit na danou pozici.

Následující tabulka udává čas složení a rozložení stavby pro určitou rychlost, a také množství chyb za daný časový interval.

Tab. 15 Testování aplikace složení a rozložení stavby

Rychlost aplikace	Počet provedení	Čas složení a rozložení stavby	Celkový čas běhu aplikace	Identifikované chyby
10%	1x	47 min 20 s	47 min 20 s	Uchopení dvou kostek současně
30%	3x	16 min 42 s	50 min 22 s	Nedolehnutí kostky
50%	3x	10 min 46 s	31 min 40 s	Uchopení dvou kostek současně Nedolehnutí kostky
70%	3x	8 min 12 s	24 min 30 s	Nedolehnutí kostky

Uchopení dvou kostek současně

K tomuto jevu dochází v případě, že jsou dvě kostky spojeny příliš pevně. Robotické rameno pak uchopí dvě a více kostek současně. Pokud dojde k této situaci hrozí kolize robotického ramene, kostek a okolí. Robotické rameno neví, že drží více kostek a chová se jako v případě kdy drží jen jednu kostku. Tomuto jevu lze zabránit obroušením vnitřních hran kostek tak aby oddělení kostky od kostky bylo snadné a nebylo třeba velké síly.

Nedolehnutí kostky

Při ukládání kostky může dojít k posunu kostky v chapadle a následnému nedolehnutí kostky na další kostku. Tato situace nastává při špatné třecí síle mezi kostkou a úchopovým zařízením. Kostky Lego Duplo jsou vyrobeny z hladkého plastu a úchopové kleště z hladké oceli. Třecí síla mezi těmito materiály je malá a může docházet k pohybu kostek a následnému špatnému usazení do stavby. Pro lepší úchop kostky byly úchopové kleště natřeny vrstvou silikonu. Silikon sice zábránil posunu kostky, ale dlouhodobějším používáním došlo k odlupování silikonu a ke ztrátě požadovaných vlastností. Řešením této situace by mohlo být pogumování úchopových kleští.

7.2 Testování stavového automatu pro ovládání robotického ramene – příprava kostek pro libovolnou stavbu

Vzhledem k nemožnosti otestovat aplikaci pomocí hlavní řídicí aplikace, bylo testování provedeno po určitých částech programu. Každá část programu byla otestována jednotlivě, a program byl také otestován jako celek, a lze tedy předpokládat, že aplikace je plně funkční, i když nebyla vyzkoušena v plném provozu.

Otestování pozic pro sejmутí obrazu kamerou:

Jednotlivé pozice byly otestovány jak z hlediska dostupnosti robotického ramene tak i z hlediska pohledu kamery. Jedná se o pozici sejmутí obrazu zásobníku a o pozici sejmутí obrazu levého a pravého překladiště. Všechny tyto pozice jsou navrženy tak, aby trajektorie pohybu byly snadno uskutečnitelné a nedošlo k chybě z důvodu nemožnosti pohybu robotického ramene. Pozice jsou také navrženy tak, aby kamera sejmula požadovanou oblast

Otestování jednotlivých podprogramů pohybu:

Jednotlivé programy byly postupně otestovány zda splňují podmínky pro trajektorie a úchop kostky. Trajektorie jsou navrženy tak, aby nedošlo k žádné kolizi. Ke kolizi by mohlo dojít pouze v případě, že by se v prostoru robotického ramene vyskytovali objekty, které by se v něm vyskytovat neměly. V případě, že jsou kostky v zásobnících či na překladištích umístěny správně, nedojde k chybě při uchopení kostky. Pokud však kostka bude nakřivo nebo mimo svou pozici může dojít ke kolizi.

Otestování podmínek pro výběr kostky:

Veškeré podmínky byly otestovány jednotlivě. Testování bylo provedeno na principu zadávání proměných a následné kontrole pokračování programu. Proměné byly zadávány tak aby byly vyzkoušeny všechny možné varianty úchopu, přenesení, uložení kostky. Všechny podmínky fungovali správně, dle přesných požadavků.

Otestování funkčnosti komunikace:

Při ověření komunikace bylo potvrzeno správné odesílání dat z průmyslového počítače do CPU robotického ramene.

Otestování kompletní funkčnosti aplikace:

Odzkoušení celkové aplikace nebylo možné, neboť potřebné prvky tedy aplikace pro průmyslový počítač a aplikace pro kameru nejsou dokončené a tedy nebylo možné vyzkoušet celou aplikaci v provozu. Po předchozím otestování jednotlivých částí aplikace lze předpokládat, že je aplikace plně funkční.

8 Závěr

Navrhnuté úpravy na konstrukci pro robotické rameno byly schváleny a konstrukce byla vyrobena podle zadaných požadavků. Následné testování ukázalo správnost návrhu, otočné kruhové zásobníky vyhovují pro správný odběr kostek. Stejně tak vyhovují obě překladiště pro překlad kostek. Při testování dostupnosti robotického ramene se ukázalo, že část karuselu, která je nejbližší otočným kruhovým zásobníkům, není robotickým ramenem dostupná, jedná se o velmi malou část karuselu.

Bezpečnostní opatření pro konstrukci robotického ramene bylo vyhodnoceno jako nedostačující a proto bylo využito funkcí robotického ramene pro zvýšení bezpečnosti. Jedná se o funkci Free Plane Limit a User – defined area, tyto funkce zajišťují ochranu vnitřní části konstrukce. Dále byly navrženy bezpečnostní prvky, které by sloužily k řádnému bezpečnostnímu opatření. Jedná se o návrh bezpečnostních závor, které zabrání nežádoucímu vstupu uživatele do prostoru konstrukce. Dalším bezpečnostním prvkem by bylo STOP tlačítko, které by sloužilo k okamžitému zastavení robotického ramene. Posledním navrženým bezpečnostním prvkem je bezpečnostní modul Mitsubishi, který zajišťuje dostupnost dalších bezpečnostních funkcí, které jsou implementovány v robotickém rameni, ale bez bezpečnostního modulu nejsou pro uživatele dostupné.

První vytvořená aplikace slouží jako demonstrační úloha. Jedná se o aplikaci která stále dokola skládá a rozkládá stejnou jednoduchou stavbu. Dlouhodobé testování ukázalo, že aplikace je plně funkční, v některých případech však dochází k chybám. Jedná se o dvě chyby, které se v aplikaci vyskytují. První chybou je odebrání více než jedné kostky. Této situaci lze zabránit obroušením vnitřních hran kostek. Druhou chybou je nedotlačení kostky na pozici. Tato chyba je způsobena špatným třením mezi kostkou a chapadlem. K odstranění chyby je zapotřebí pogumování úchopového zařízení.

Aplikace stavového automatu pro řízení robotického ramene nebyla otestována v provozu s průmyslovým počítačem. Tato aplikace byla otestována pouze samostatně. Testovány byly jednotlivé části programů, tyto části nevykazovali žádné chyby. Vzhledem k tomu je předpokládána správná funkčnost aplikace i za plného provozu. Aplikace bude odzkoušena za plného provozu až po dokončení všech zbývajících komponentů jako je aplikace pro průmyslový počítač či pro kameru.

Použitá literatura

- [1] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory – učební text*[online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2007 [cit. 2018-11-01]. Dostupné z: http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf
- [2] CHVÁLA, Břetislav, Robert MATIČKA a Jaroslav TALÁCKO. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Vyd. 2. přeprac. Praha: České vysoké učení technické, 1987.
- [3] ROCKWELL Automation. *Safety book 4. Rockwell automation, 201*. SAFEBK-RM002B-CS-P.
- [4] MITSUBISHI ELECTRIC. *Mitsubishi industrial robot – CR750/CR751/CR760 series controller – Instruction manual*[online]. Mitsubishi Electric Corporation, 2017 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: https://electrobit.ee/web/file_bank/Manuals/robotid/mitsubishi/cr751/CR750-CR751-CR760-functions-detailed_ENG.pdf
- [5] MITSUBISHI ELECTRIC. *Mitsubishi industrial robot – CR750/CR751 series controller – Robot safety option - Instruction manual*[online]. Mitsubishi Electric Corporation, 2015 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: [http://suport.siriustrading.ro/01.DocAct/6.%20Roboti%20industriali%20RI/6.4.%20Controllers/CR750,CR751%20-%20Instruction%20Manual%20\(Safety%20Option%204F-SF001-01\)%20BFP-A3372-B%20\(04.15\).pdf](http://suport.siriustrading.ro/01.DocAct/6.%20Roboti%20industriali%20RI/6.4.%20Controllers/CR750,CR751%20-%20Instruction%20Manual%20(Safety%20Option%204F-SF001-01)%20BFP-A3372-B%20(04.15).pdf)
- [6] MITSUBISHI ELECTRIC. *Mitsubishi industrial robot – CR750-Q/CR75-Q1 controller – RV-2F-Q Series – Standard specifications Manual* [online]. Mitsubishi Electric Corporation, 2017 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <http://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/manual/robot/bfp-a8902/bfp-a8902y.pdf>
- [7] MITSUBISHI ELECTRIC. *Gx Configurator - PN 1.03 – Configuration System for PROFINET IO Networks – Software Manual*[online]. Mitsubishi Electric Industrial Automation, 2013 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: [http://suport.siriustrading.ro/02.DocArh/09.MS/01.PLC/02.Utilitare/02.Utilitare%20GxDev/17.GX%20Configurator-PN/GX%20Configurator-PN%20-%20Software%20Manual%20255245-A%20\(09.13\).pdf](http://suport.siriustrading.ro/02.DocArh/09.MS/01.PLC/02.Utilitare/02.Utilitare%20GxDev/17.GX%20Configurator-PN/GX%20Configurator-PN%20-%20Software%20Manual%20255245-A%20(09.13).pdf)
- [8] MITSUBISHI ELECTRIC. *RT ToolBox2 / RT ToolBox2 mini – User's Manual*[online]. Mitsubishi Electric Corporation, 2014 [cit. 2018-04-25] Dostupné z: https://www.allied-automation.com/wp-content/uploads/2015/02/MITSUBISHI_CR750-series-RT-ToolBox2-RT-ToolBox2-mini-User%E2%80%99s-Manual.pdf

Seznam příloh

Disk CD

Diplomová práce ve formátu PDF

Program pro složení a rozložení stavby - Stavba

Program pro stavový automat pro ovládání robotického ramene - Automat

Elektronický úchop Schunk 310940 – Data Sheets